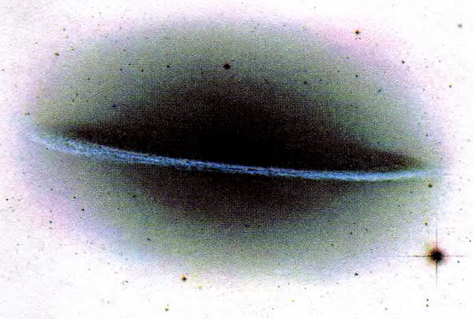
Династия

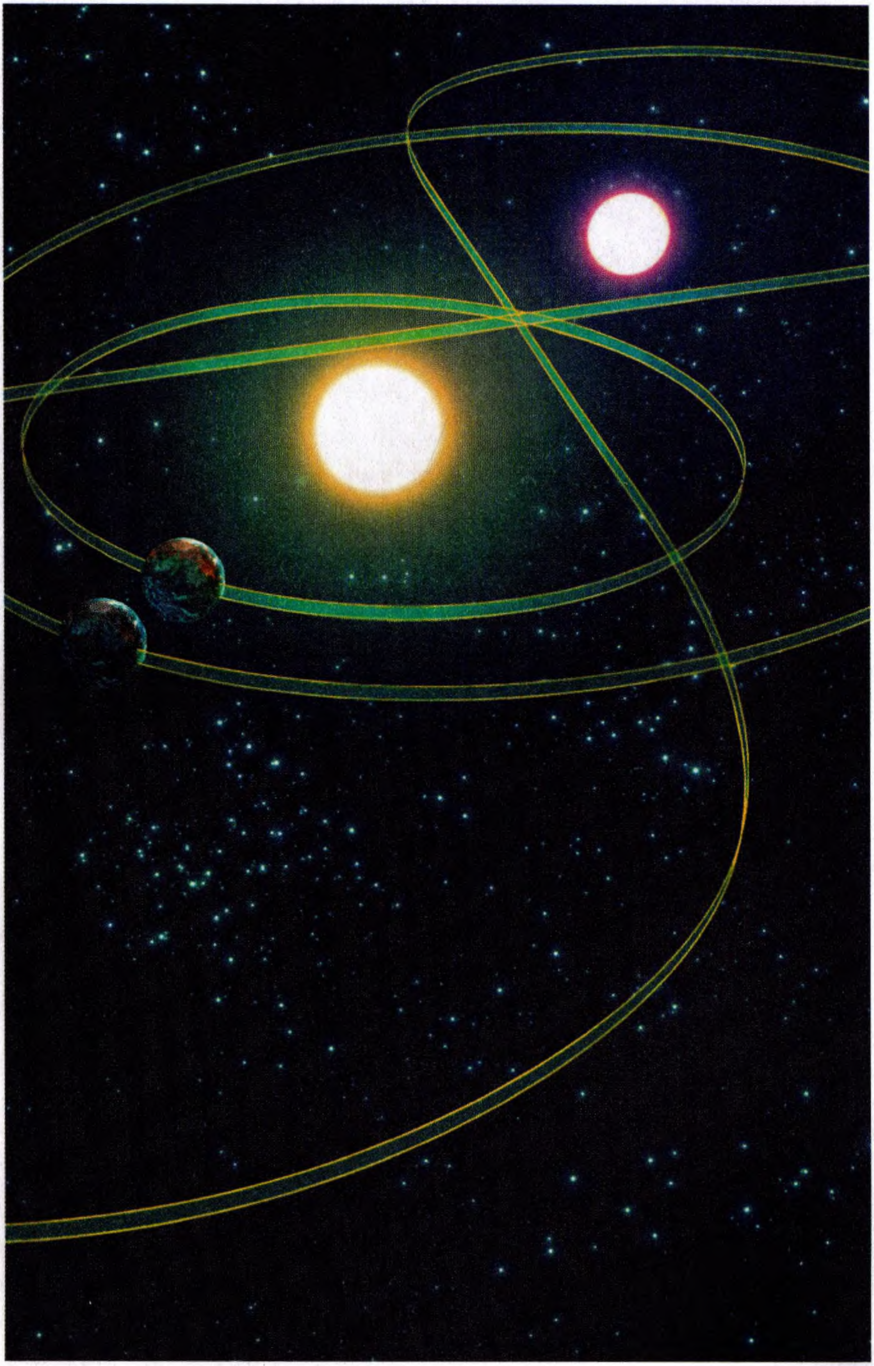
Стивен Хокинг

и Леонард Млодинов

Высший замысел

ф | амфора





Стивен Хокинг
и Леонард Млодинов

ВЫСШИЙ ЗАМЫСЕЛ

амфора

Санкт-Петербург
2 0 1 3

УДК 524.8
ББК 22.68(4Вл)
Х 70

12+
Издание не рекомендуется детям младше 12 лет

STEPHEN HAWKING and LEONARD MLODINOW
The Grand Design

Перевод с английского М. В. Кононова под редакцией Г. А. Бурбы

Научный редактор Г. А. Бурба

Издательство выражает благодарность литературному агентству Synopsis за содействие в приобретении прав

Хокинг С., Млодинов Л.
Х 70 Высший замысел / Стивен Хокинг, Леонард Млодинов ; [пер. с англ. М. Кононова под ред. Г. Бурбы]. — СПб. : Амфора. ТИД Амфора, 2013. — 208 с. : ил.

ISBN 978-5-367-02637-5 (Амфора)
ISBN 978-5-4357-0150-0 (Петроглиф)

Цель этой книги — дать ответы на волнующие нас вопросы существования Вселенной, ответы, основанные на последних научных открытиях и теоретических разработках.

УДК 524.8
ББК 22.68(4Вл)

Научно-популярное издание

СТИВЕН ХОКИНГ И ЛЕОНАРД МЛОДИНОВ

ВЫСШИЙ ЗАМЫСЕЛ

Ответственный редактор *Т. Уварова*. Художественный редактор *Е. Саламашенко*. Технический редактор *Е. Траскевич*. Корректор *А. Борисенкова*. Верстка *М. Залиева*.

Подписано в печать 14.01.2013. Формат издания 60×90 $^{1}/_{16}$. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,0. Тираж 4500 экз. Заказ №400

Издательство «Амфора». Торгово-издательский дом «Амфора».
197110, Санкт-Петербург, наб. Адмирала Лазарева, д. 20, литера А.
www.amphora.ru, e-mail: secret@amphora.ru

ООО «Петроглиф».
191002, Санкт-Петербург, ул. Достоевского, д. 22, литера А, помещение 1-Н.

Отпечатано с готовых файлов заказчика в ОАО «Первая Образцовая типография», филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ». 432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, д. 14.

Copyright © 2010 by Stephen W. Hawking and Leonard Mlodinow
Original art copyright © 2010 by Peter Bollinger
Cartoons by Sidney Harris, copyright © Sciencecartoonsplus.com
© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление. ЗАО ТИД «Амфора», 2012

ISBN 978-5-367-02637-5 (Амфора)
ISBN 978-5-4357-0150-0 (Петроглиф)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Загадка бытия
7

2. Верховенство закона
17

3. Что такое реальность
43

4. Альтернативные истории
69

5. Теория всего
97

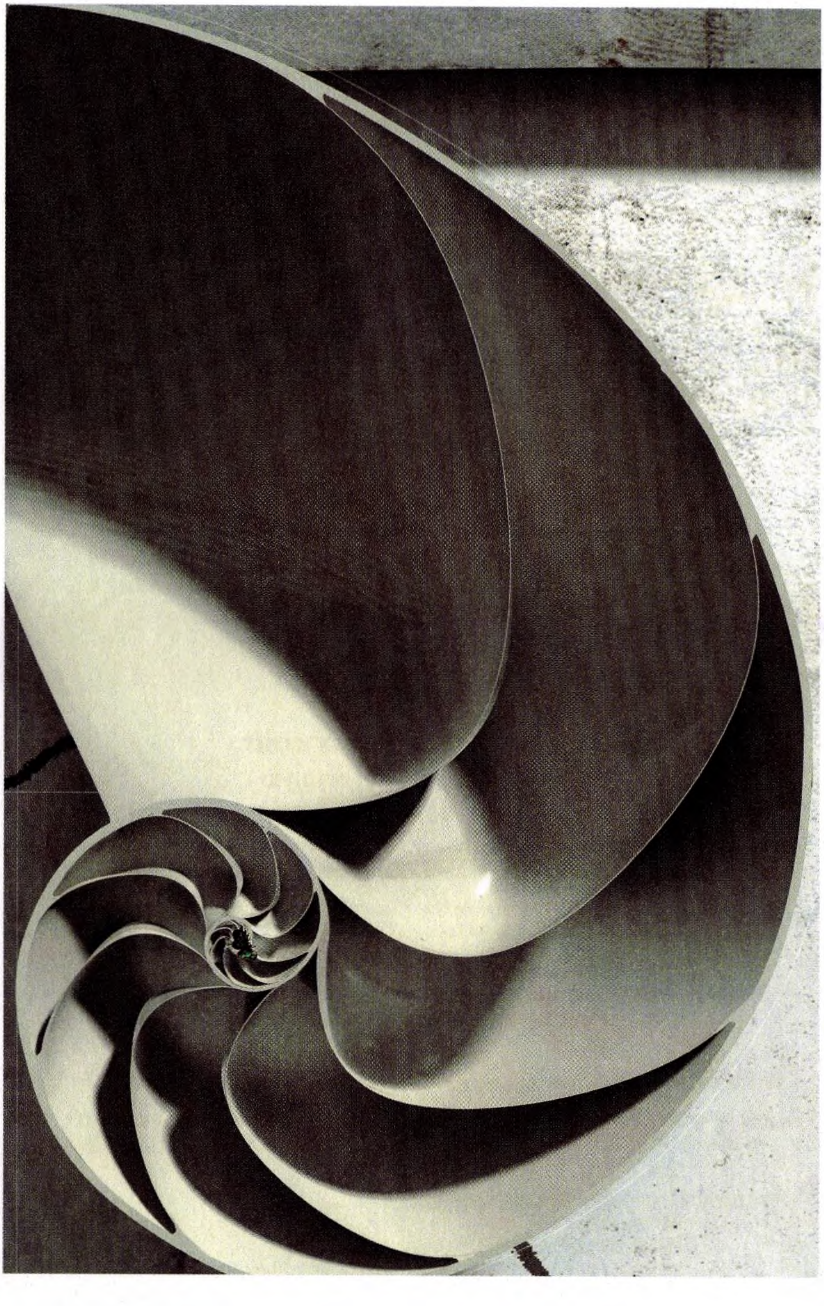
6. Выбирая нашу Вселенную
139

7. Кажущееся чудо
167

8. Высший замысел
191

Словарь терминов
205

Благодарность
208

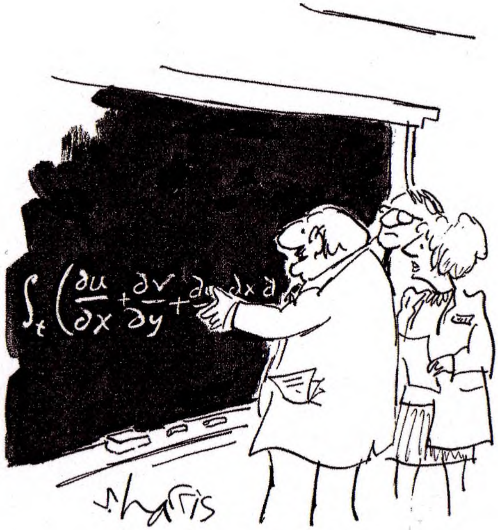


1

ЗАГАДКА БЫТИЯ

ЖИЗНЬ КАЖДОГО ИЗ НАС СКОРОТЕЧНА, и за это время мы способны познать лишь малую часть Вселенной. Но люди любознательны. Мы интересуемся, мы ищем ответы. Живя в этом огромном мире, где чередуются добро и зло, люди, вглядываясь в необъятные небеса, всегда задавали себе множество вопросов. Как понять мир, в котором мы оказались? Как развивается Вселенная? В чем суть реальности? Откуда все это взялось? Нуждалась ли Вселенная в творце? Большинство из нас не уделяют значительного времени размышлениям над этим вопросам, но почти все иногда задают их себе.

Традиционно на такие вопросы отвечала философия, но сейчас она мертва. Она не поспевает за современным развитием науки, особенно физики. Теперь исследователи, а не философы держат в своих руках факел, освещающий наш путь к познанию. Цель этой книги — дать ответы, основанные на последних научных открытиях и теоретических разработках. Они приводят нас к новой картине мира, которая значительно отличается от традиционной и даже от той, которую мы могли нарисовать себе еще лет десять или двадцать назад. Причем



«Это моя философия...»

первые штрихи этой новой картины возникли почти столетие назад.

Согласно традиционному пониманию Вселенной, все тела в ней движутся по строго определенным траекториям и имеют четкую историю. Мы можем определить их точное положение в любой момент времени. Несмотря на то что такой подход вполне удовлетворителен для повседневных целей, в 1920-х годах было обнаружено, что эта «классическая» картина не соответствует кажущемуся странным поведению объектов на атомном и субатомном уровнях. Там пришлось применить другую систему взглядов, названную квантовой физикой. Квантовые теории оказались способными с исключительно высокой точностью предвычислять явления, происходящие в этих масштабах, и в то же время, будучи применимыми к макромиру нашей обычной жизни, они дают те же прогнозы, что и старые классические теории. Но квантовая физика базируется на совершенно

иных представлениях о физической реальности, чем классическая физика.

Квантовые теории можно сформулировать по-разному, но, пожалуй, самое образное определение дал Ричард (Дик) Фейнман (1918–1988), который был весьма колоритной личностью. Он работал в Калифорнийском технологическом институте и частенько играл на барабанах бонго в ближайшем стрип-клубе. По Фейнману, система мира имеет не одну-единственную историю, а все, какие только возможны. В поисках ответа на наши вопросы мы подробно объясним фейнмановский подход и применим его для рассмотрения идеи о том, что у Вселенной нет одной-единственной истории и даже нет отдельного, независимого существования. Это идея выглядит радикальной даже для многих физиков. Действительно, она, как и многие другие идеи в современной науке, как будто противоречит здравому смыслу. Но здравый смысл зиждется на повседневном опыте, а не на знаниях о Вселенной, которая открывается нам через чудеса технологий, позволяющие заглянуть хоть в начало ее развития, хоть в глубь атома.

До возникновения современной физики было принято считать, что все знание мира может быть получено с помощью непосредственных наблюдений, что вещи таковы, какими они выглядят, как воспринимаются нашими органами чувств. Но впечатляющий успех современной физики, основанный на концепциях вроде фейнмановской, противоречащих нашему повседневному опыту, показал, что это не так. Стало быть, простое восприятие реальности несовместимо с современной физикой. Чтобы иметь дело с такими парадоксами, будем придерживаться подхода, который мы называем моделезависимым реализмом. Он основывается на том, что наш мозг интерпретирует сигналы, поступающие от органов чувств, и создает модель мира.

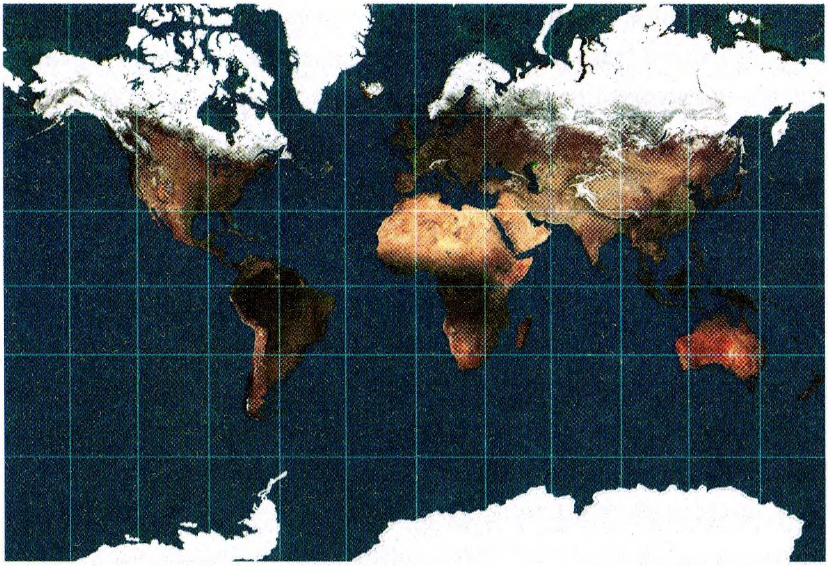
Когда такая модель удачно объясняет события, мы склонны приписывать ей, а также составляющим ее элементам и концепциям свойство реальности, или абсолютной истины. Но ведь одно и то же физическое явление можно смоделировать по-разному, используя различные фундаментальные идеи и концепции. Если две такие физические теории достоверно предсказывают одни и те же события, нельзя сказать, что одна модель реальнее другой, и мы вполне можем использовать ту, которая наиболее удобна.

В истории науки мы видим последовательность все более улучшающихся теорий, или моделей мира: от Платона до классической теории Ньютона и до современных квантовых теорий. Напрашивается вопрос: достигнет ли эта последовательность когда-нибудь конечной точки, окончательной теории Вселенной, которая включит в себя все взаимодействия и предскажет все наши наблюдения, или же мы будем бесконечно искать более совершенные теории, но так и не найдем той, которую уже невозможно будет улучшить? У нас пока нет четкого ответа на этот вопрос, но уже есть кандидат на окончательную теорию всего, если таковая вообще существует. Это так называемая М-теория. Она представляет собой всего лишь модель, обладающую всеми свойствами, которыми, по нашему мнению, должна обладать окончательная теория. Бóльшая часть нашего последующего обсуждения будет основываться именно на М-теории.

М-теория — это не теория в обычном смысле. Это целое семейство различных теорий, каждая из которых является хорошим описанием наблюдений лишь для ограниченного ряда физических ситуаций. Она немного напоминает карту. Хорошо известно, что на одной карте невозможно показать всю земную поверхность без искажений. Обычная проекция Меркатора,

используемая для карт мира, сильно искажает площади, преувеличивая их изображение на карте по мере приближения к Северному и Южному полюсам, а сами полюса картой в этой проекции вовсе не покрываются. Чтобы правильно показать на карте всю Землю целиком, нужно использовать набор карт, каждая из которых покрывает ограниченную область. Эти карты накладываются друг на друга, и в местах перекрытия отдельных листов на них изображен один и тот же ландшафт. То же самое и с М-теорией: все составляющие ее теории, даже если они выглядят сильно отличающимися друг от друга, могут рассматриваться как различные аспекты одной и той же общей теории. Они представляют собой варианты одной теории, применимые лишь в ограниченных пределах, например когда какие-то величины, скажем энергия, малы. Подобно перекрывающимся листам карт в проекции Меркатора, там, где различные версии накладываются друг на друга, они предсказывают одни и те же явления. Но точно так же, как не существует плоской карты, которая без искажений отображает всю земную поверхность, не существует и единой теории, которая хорошо отображает то, что наблюдается во всех ситуациях.

Мы расскажем, какие ответы может предложить М-теория на вопрос о сотворении мира. Согласно М-теории, наша Вселенная не единственная. М-теория предсказывает, что из ничего было создано огромное множество вселенных. Для их сотворения не требуется вмешательства сверхъестественного существа или Бога. Скорее, эти многочисленные вселенные возникают естественным путем по законам физики. Они являются научным предсказанием. У каждой вселенной есть много возможных историй и много возможных состояний в более поздние времена, то есть во времена вроде нынешнего, спустя продолжительное время после их сотворения. Большинство этих состояний должны



Карта мира. Чтобы представить Вселенную, может потребоваться ряд перекрывающихся теорий, подобно тому как для показа всей Земли без искажений требуется набор перекрывающихся карт.

быть совершенно непохожими на видимую нам Вселенную и совершенно неподходящими для любой формы жизни. Лишь в очень немногих из них условия могут позволить наличие существ, подобных нам. Таким образом, наше присутствие выбирает из этого обширного множества только те вселенные, которые совместимы с нашим существованием. И хотя мы малы и незначительны в космическом масштабе, само наше присутствие делает нас в некотором смысле властелинами творения.

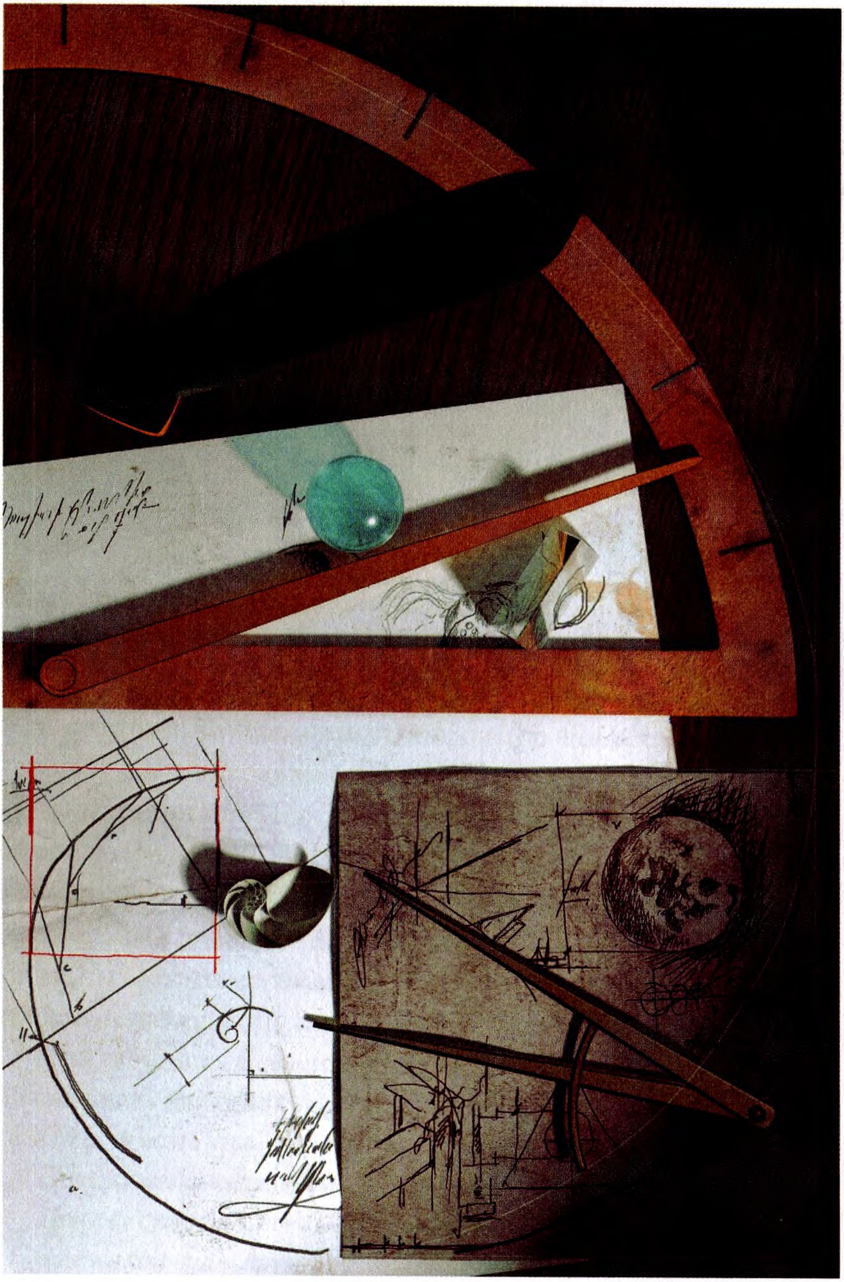
Чтобы понять Вселенную на самом глубоком уровне, нам нужно знать не только *как* она себя проявляет, но и *почему*.

Почему есть что-то, вместо того чтобы не было ничего?

Почему мы существуем?

Почему существует именно этот конкретный набор законов, а не какой-либо другой?

Это Главный вопрос Жизни, Вселенной и Всего такого. Мы попытаемся ответить на него в этой книге. В отличие от фантастического романа английского писателя Дугласа Адамса «Автостопом по галактике», где на все сложные вопросы давался универсальный, но бессмысленный ответ «42», наш ответ не будет столь примитивным.



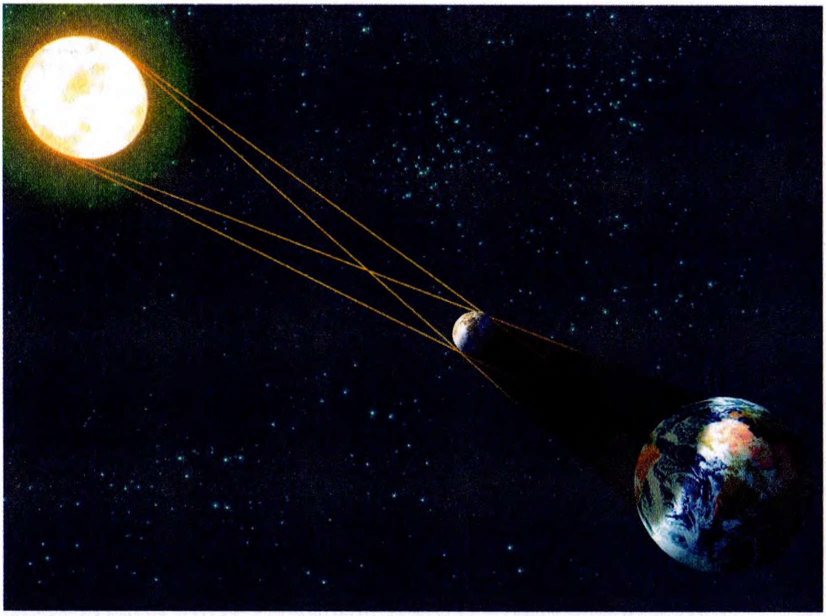
2

ВЕРХОВЕНСТВО ЗАКОНА

Сколль имя Волка,
за солнцем бежит он
до самого леса;
а Хати другой,
Хродвитнира сын,
предшествует солнцу.

Старшая Эдда.
Речи Гримнира

в мифологии викингов волки Сколль и Хати гонялись за солнцем и луной. Когда кто-либо из них достигал своей цели, случалось затмение. Тогда люди спешили на помощь солнцу или луне, поднимая страшный шум в надежде, что он отпугнет волков. Похожие мифы есть и в других культурах. По прошествии времени люди наверняка заметили, что солнце и луна вновь появляются после затмения независимо от того, бегали они, крича и стуча во что попало, или нет. Они также не могли не заметить, что затмения происходят не спонтанно, а периодически, следуя какому-то правилу. Это было особенно очевидно для лунных затмений, что позволяло древним вавилонянам довольно точно их предсказывать, даже несмотря на то что они не знали, как происходит затмение: Земля перекрывает свет Солнца, падающий на Луну. Предсказывать же солнечные затмения было труднее, поскольку они видны с Земли лишь в пределах сравнительно узкой полосы шириной около тридцати миль. И все же подмеченные особенности ясно указывали, что затмения происходят не по произволу сверхъестественных сил, а подчинены закономерностям.



Затмение. В древности люди не знали, что́ является причиной затмений, но они подметили закономерности их повторения.

Несмотря на первые удачные попытки предсказаний движения небесных тел, большинство явлений природы казалось нашим предкам непредсказуемым. Извержения вулканов, землетрясения, бури, эпидемии и вросшие ногти на ногах — все это случалось вроде бы без всяких причин и закономерностей. В древности разрушительные явления природы обычно связывали с деятельностью вредных и злых божеств. Бедствия часто воспринимались как знак того, что люди чем-то прогневали богов. Например, около 5600 г. до н. э. вулкан Маунт-Мазама в Орегоне (США) начал извергаться, выбрасывая камни и горячий пепел. Это длилось на протяжении нескольких лет, вызывая обильные дожди, которые в конце концов заполнили кратер вулкана водой, образовав там озеро, нынешнее Крейтер-Лейк. У орегонских ин-

дейцев племени кламат есть легенда, в которой подробно описаны все геологические события, связанные с этим явлением, а также добавлено немного драматизма, чтобы представить виновником катастрофы человека. Присущее людям чувство вины таково, что им нужно лишь найти повод для самообвинения. Легенда говорит, что вождь Нижнего мира, Ллао, влюбился в прекрасную земную девушку, дочь вождя кламатов. Она отвергла его, и в отместку Ллао попытался уничтожить кламатов огнем. К счастью, согласно легенде, Скелл, вождь Верхнего мира, пожалел людей и сразился со своим подземным соперником. После битвы раненый Ллао скрылся в недрах горы Мазама, оставив за собой огромную яму — кратер, который впоследствии заполнился водой.

Не зная законов природы, древние люди вынуждены были придумывать богов, управлявших различными сторонами человеческой жизни. Были боги любви и войны, солнца, земли и неба, океанов и рек, дождя, грома и даже землетрясений и вулканов. Когда боги пребывали в хорошем настроении, они посылали людям благоприятную погоду, мир, оберегали их от стихийных бедствий и болезней. Когда же боги гневались, начинались засухи, войны, мор и эпидемии. Поскольку связь причины и следствия в природе оставалась невидимой для людских глаз, то боги казались им непостижимыми, и люди уповали на их милосердие. Но начиная с Фалеса Милетского (ок. 625 — ок. 546 до н. э.), то есть примерно 2600 лет назад, этот взгляд на мир стал меняться. Появилась мысль, что природа подчиняется незыблемым принципам, которые можно расшифровать. Так начался долгий процесс замены понятия о власти богов на концепцию Вселенной, управляемой законами природы и созданной по замыслу, который мы когда-нибудь сумеем разгадать.

По сравнению с продолжительностью истории человечества научное исследование представляет собой совершенно новый, недавно принятый подход. Люди зародились в Африке,

к югу от Сахары, примерно за 200 000 лет до нашей эры. Письменность появилась лишь около 7000 г. до н. э. Она возникла в обществах, занимавшихся культивированием зерна (некоторые из древнейших текстов касаются дневной нормы пива, дозволяемой каждому жителю). Самые ранние записи великой цивилизации Древней Греции восходят к IX веку до н. э., но расцвет этой цивилизации, ее «классический период», наступил несколько столетий спустя, начавшись около 500 г. до н. э. Согласно Аристотелю (384–322 до н. э.), примерно в это время Фалес впервые выдвинул идею о том, что мир можно понять, что сложные события вокруг нас можно свести к простым принципам и объяснить, не прибегая к мифологическим или теологическим толкованиям.

Принято считать, что Фалес первым предсказал солнечное затмение в 585 г. до н. э., хотя его предсказание получилась точным, вероятно, лишь по счастливой случайности. Он был скрытным человеком и не оставил о себе почти никаких свидетельств. Его дом являлся одним из интеллектуальных центров Ионии — области в Малой Азии, на восточном побережье Эгейского моря, которую заселили греки. Влияние Ионии постепенно распространилось от нынешней Турции на запад, вплоть до Италии. Ионийская наука с ее попыткой объяснить природные явления, открыть фундаментальные законы — гигантская веха в истории человеческой мысли. Ученые Ионии пытались рационально объяснить те или иные законы природы и во многих случаях пришли к заключениям, удивительно похожим на наши, сегодняшние, полученные с помощью иных, усложненных методов. Это было великое начало. Но несколько веков спустя о многих достижениях ионийской науки забыли и то, что уже было сделано, открывали и изобретали заново, иногда не один раз.

Считается, что первая математическая формулировка того, что теперь мы могли бы назвать законом природы, принадлежит

Иония. Ионийские ученые одними из первых стали объяснять природные явления законами природы, а не мифами или теологией.

ионийцу Пифагору (ок. 580–490 до н. э.), прославившемуся теоремой, получившей его имя, которая гласит: квадрат гипотенузы (самой длинной стороны) прямоугольного треугольника равен сумме квадратов двух других его сторон (катетов). Считается, что Пифагор открыл численную зависимость между длиной струн музыкального инструмента и гармоническим рядом звуков. На современном языке мы бы описали это соотношение, сказав, что частота колебаний — количество вибраций в секунду — у струны, вибрирующей при фиксированном натяжении, обратно пропорциональна длине струны. С практической точки зрения это объясняет, почему более короткие гитарные струны дают более высокий тон, чем те, которые длиннее. Вполне веро-

ятно, что на самом деле это открытие не принадлежит Пифагору (как и формулировка теоремы, носящей его имя), но есть свидетельства, что про определенную зависимость между длиной струны и высотой тона в его время было известно. А если так, то эту простую математическую формулу можно считать первым этапом того, что мы сегодня называем теоретической физикой.

Кроме закона Пифагора о струнах в правильном виде древним были известны лишь три закона, установленные Архимедом (ок. 287–212 до н. э.), который несомненно являлся самым выдающимся физиком Античности. В сегодняшней терминологии закон рычага гласит: малая сила может поднять большой вес потому, что рычаг увеличивает силу пропорционально отношению расстояний от точки опоры. Закон плавучести утверждает, что на любой предмет, погруженный в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. А закон отражения устанавливает, что угол между падающим лучом света и зеркалом равен углу между зеркалом и отраженным лучом. Но Архимед не называл это законами, как и не обосновывал их ссылками на наблюдения и измерения. Вместо этого он относился к ним так, будто это были вполне очевидные математические теоремы типа аксиом, являющиеся частью системы, не требующей доказательств — весьма похожей на ту, что создал Евклид для геометрии.

По мере распространения ионийского влияния появлялись и другие ученые, понимавшие, что во Вселенной есть внутренний порядок, который можно распознать путем наблюдений и умозаключений. Анаксимандр (ок. 610 – ок. 546 до н. э.), друг и, возможно, ученик Фалеса, говорил: поскольку новорожденный человек беспомощен, то если бы первый человек каким-то образом появился на Земле младенцем, он бы не выжил. Своим, пожалуй, первым в истории человечества намеком на эволю-

цию Анаксимандр аргументировал, что люди должны были развиться из других животных, чьи детеныши более приспособлены к жизни.

На Сицилии Эмпедокл (ок. 483/84 — между 430 и 420 до н. э.) наблюдал, как используется клепсидра — устройство, иногда применявшееся в качестве черпака. Клепсидра представляет собой сферический сосуд с открытым горлышком и маленькими дырочками в днище. Когда ее погружали в воду, она наполнялась, а если горлышко затем закрывали, то клепсидру можно было вынуть из воды, и при этом вода из дырочек не вытекала. Эмпедокл заметил: если горлышко закрыть перед погружением, то клепсидра водой не наполняется. Из этого он заключил, что проникновению воды в сферу сквозь дырочки должно препятствовать нечто невидимое. Так он открыл материальную субстанцию, которую мы называем воздухом.

Примерно в то же время Демокрит (ок. 460 – между 380 и 370 до н. э.) из ионийской колонии в Северной Греции обдумывал, что же происходит, когда предмет разбивают или разрезают на части. Он утверждал, что этот процесс невозможно продолжать бесконечно. Демокрит высказал мысль о том, что все, включая живые существа, состоит из простейших частиц, которые более невозможно разрезать или разбить. Эти конечные частицы он назвал атомами — от греческого прилагательного, означающего «неделимый». Демокрит полагал, что любое материальное явление представляет собой результат столкновения атомов. По его теории, названной атомизмом, все атомы перемещаются в пространстве и, если их не трогать, могут двигаться по прямой бесконечно. Сегодня это называют законом инерции.

Революционную мысль, что мы лишь обычные обитатели Вселенной, а не особые существа, удостоенные чести находиться в ее центре, первым высказал Аристарх Самосский (ок. 310 — ок. 230 до н. э.), один из последних ученых Ионии. Из его рас-

четов уцелел лишь сложный геометрический анализ тщательно выполненных им наблюдений за величиной земной тени на Луне во время лунных затмений. Из этих данных Аристарх сделал вывод, что Солнце должно быть намного больше Земли. Возможно, вдохновленный идеей о том, что мелкие объекты должны вращаться вокруг огромных, а не наоборот, он стал первым, кто заявил, что Земля не представляет собой центра нашей планетной системы, а скорее она и прочие планеты вращаются вокруг гораздо более крупного Солнца. От понимания того, что Земля всего лишь одна из планет, оставался только шаг до мысли, что наше Солнце тоже не представляет собой ничего исключительного. Аристарх подозревал, что это именно так, и полагал, что звезды, которые мы видим на ночном небе, в действительности не что иное, как удаленные солнца.

Ученые Ионии были представителями одной из многих философских школ Древней Греции, имевших свои собственные традиции, зачастую противоречившие другим школам. К сожалению, подход ионийской школы к природным явлениям, состоявший в том, что их можно объяснить общими законами и свести к простому набору принципов, имел сильное влияние на протяжении всего лишь нескольких столетий. Одной из причин этого было то, что в ионийских теориях зачастую не находилось места для таких понятий, как «свобода воли» или «предназначение», либо для концепции об участии богов в делах мира. Эти поразительные упущения вызывали у многих греческих мыслителей столь же глубокое беспокойство, как и у многих людей сегодня. Философ Эпикур (341–270 до н. э.), например, выступал против атомизма на том основании, что «лучше следовать мифам о богах, чем стать „рабом“ удела натурфилософов». Аристотель тоже отвергал концепцию атомов, так как не мог допустить, что люди состоят из мертвых, неодушевленных объектов. Предположение ионийских ученых, что человек не явля-

ется центром Вселенной, — это веха в нашем понимании космоса, но оно было отброшено и не подхвачено снова еще почти двадцать столетий, вплоть до Галилео Галилея.

Хотя большинство идей древних греков было столь же проницательно, как и некоторые их догадки о природе, в наши дни они не получили бы статуса действительно научных. Поскольку греки не разработали научного метода, их теории строились без расчета на экспериментальную проверку. Поэтому если один ученый утверждал, что атом движется по прямой, пока не столкнется с другим атомом, а другой ученый утверждал, что атом движется по прямой, пока не ударится в циклопа, то не было объективного пути уладить их спор. Не было также и четкого различия между физическими законами и законами человеческого существования. В V веке до н. э., например, Анаксимандр писал, что все сущее происходит из первовещества и возвращается в него же, чтобы «заплатить штраф и понести наказание за свои злодеяния». А ионийский философ Гераклит (ок. 540 – ок. 480 до н. э.) считал, что Солнце ведет себя так, а не иначе, потому что оно боится наказания богини справедливости. Несколько столетий спустя стоики (приверженцы греческой философской школы, возникшей примерно в III веке до н. э.) наконец провели границу между законами природы и нормами поведения людей, но к законам природы они отнесли и те нормы поведения людей, которые считали универсальными, например поклонение богам и послушание родителям. И наоборот, они часто описывали физические процессы юридическими терминами и полагали, что к исполнению физических законов следует принуждать, даже если объекты, которые должны «подчиняться» законам, являются неодушевленными. Но если уж людей трудно заставить соблюдать правила дорожного движения, то представьте себе, каково это — убедить астероид двигаться по эллипсу.

Эта традиция на протяжении еще многих столетий продолжала оказывать влияние на мыслителей, пришедших на смену грекам. В XIII веке христианский философ Фома Аквинский (ок. 1225–1274) принял такую же точку зрения и использовал ее для доказательства бытия Бога. Он писал: «Все в природе движется к своей конечной цели не случайно, а по какому-то намерению... И стало быть, имеется разумное существо, которое направляет все, что есть в природе, к конечной цели...» Даже уже в XVI веке великий немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571–1630) все еще полагал, что планеты способны воспринимать смысл и осознанно следуют законам движения, которые были усвоены их «умом».

Понимание того, что законам природы нужно осознанно повиноваться, отражает сосредоточенность древних мыслителей на том, *почему* природа ведет себя именно таким образом, как это имеет место быть, а не на том, *как* она себя ведет. Аристотель, отвергавший идею о науке, основанной преимущественно на наблюдении, был одним из главных сторонников такого подхода. В любом случае выполнение точных измерений и математических расчетов в древности было затруднительным. Позиционная десятичная система счисления, которую мы полагаем весьма удобной для арифметических вычислений, появилась лишь около 700 года, когда индийцы сделали первые значительные шаги к превращению этого способа в мощный инструмент. До XV века не было математических знаков плюс и минус. А знака равенства и часов, способных измерять время с точностью до секунды, не существовало вплоть до XVI века.

Однако Аристотель в измерениях и расчетах не видел препятствий для развития физики, которая могла бы давать количественные прогнозы. Скорее, он не считал нужным производить их. Вместо этого Аристотель построил свою физику на принципах, привлекавших его интеллектуально. Он отбрасывал факты, ко-

торые считал маловажными, и сосредотачивал свои усилия на причинах, в силу которых что-либо происходит, не уделяя достаточного внимания детальному выяснению того, что же именно происходит. Аристотель уточнял свои умозаключения только тогда, когда их вопиющее несоответствие наблюдениям уже нельзя было игнорировать. Но эти уточнения зачастую были объяснениями для какого-либо конкретного случая, позволявшими лишь сгладить противоречие. Таким образом, как бы сильно его теория ни отклонялась от реальности, в каждом отдельном случае он мог изменить ее настолько, чтобы создать видимость отсутствия конфликта. Например, его теория движения утверждала, что тяжелые тела падают с постоянной скоростью, пропорциональной их весу. Чтобы объяснить тот факт, что тела по мере падения явно набирают скорость, он придумал новый принцип, согласно которому тела, по мере того как они приближаются к своему естественному месту покоя, движутся более радостно и потому ускоряются. Сегодня подобный принцип выглядит более подходящим для описания людей, чем неодушевленных объектов. Хотя теории Аристотеля зачастую имели малую ценность для предсказаний, его подход к науке господствовал в западном мышлении почти две тысячи лет.

Христианские преемники греков отвергли мысль о том, что Вселенная управляется бездушными законами природы, а также то, что люди не занимают привилегированного места во Вселенной. И хотя в Средние века не было единой стройной философской системы, считалось, что Вселенная — это игрушечный домик Бога, а религия гораздо более достойна изучения, чем природные явления. И в самом деле, в 1277 году епископ Парижский Темпье, действуя по указанию Папы Римского Иоанна XXI, обнародовал список 219 заблуждений, или ересей, которые подлежали осуждению. Среди них была и мысль о том, что природа подчиняется своим законам. В список она попала

за то, что противоречила суждению о всемогуществе Бога. Любопытно, что несколько месяцев спустя Иоанн XXI погиб из-за действия закона тяготения — на него обрушилась крыша его дворца.

Современное представление о законах природы появилось в XVII веке. Кеплер был, пожалуй, первым ученым, понимавшим этот термин в его современном значении, хотя, как мы уже сказали, он придерживался анимистического взгляда на физические объекты, то есть верил в их одушевленность. Итальянский естествоиспытатель Галилео Галилей (1564–1642) в большинстве своих научных работ не использовал термин «закон» (хотя он и появляется в некоторых переводах его трудов). Независимо оттого, употреблял он этот термин или нет, Галилей открыл великое множество законов и отстаивал важные принципы, считая, что наблюдения составляют основу науки и что цель науки — исследование количественных отношений, существующих между физическими явлениями. Но первым, кто четко и строго сформулировал понятие законов природы в нашем нынешнем представлении, стал французский ученый Рене Декарт (1596–1650).

Декарт полагал, что все физические явления следует объяснять в терминах столкновения движущихся масс, управляемых тремя законами — предтечами знаменитых ньютоновских законов движения. Он утверждал, что эти законы природы действуют всегда и везде, и категорично заявлял, что подчинение им не предполагает наличия разума у этих движущихся масс. Декарт также понял важность того, что мы сегодня называем начальными условиями. Они описывают состояние системы в начале какого-то интервала времени, на который намереваются сделать прогноз. При данном наборе начальных условий законы природы определяют, как система будет развиваться во времени, а вот без определенного набора начальных условий развитие предсказать невозможно. Если, например, в нулевой момент времени

«За время своего долгого царствования я понял: становится жарче».

голубь прямо у вас над головой кое-что роняет, путь этого падающего объекта определяется законами Ньютона. Но результат будет совершенно разным в зависимости от того, сидел ли голубь в нулевой момент времени на телефонном проводе или летел со скоростью 20 миль в час. Чтобы применять физические законы, нужно знать, с чего система стартовала, или, по крайней мере, ее состояние в определенное время. (Законы могут быть также использованы и для прослеживания системы обратно во времени.)

С возобновленной верой в существование законов природы появились и новые попытки примирить эти законы с понятием о Боге. Согласно Декарту, Бог может по своей воле изменить истинность или ложность этических суждений или математиче-

ских теорем, но не природу. Декарт полагал, что Бог установил законы природы, но не имел возможности их выбирать. Он взял их потому, что законы, которые мы ощущаем, являются единственно возможными. Такой подход мог показаться ущемлением могущества Бога, но Декарт обошел это затруднение, заявив, что законы нельзя изменить, потому что они — отражение внутренней природы Бога. Если это так, то можно было бы подумать, что Бог все-таки имел возможность сотворить множество различных миров, каждому из которых соответствовал бы собственный набор начальных условий. Но Декарт отверг и это. Независимо от того, каким было состояние материи при зарождении Вселенной, утверждал он, с течением времени образовался бы мир, идентичный нашему. Более того, Декарт понимал, что как только Бог привел мир в движение, то сразу же предоставил его самому себе.

Подобную позицию (с некоторыми отличиями) разделял английский физик и математик Исаак Ньютон (1643–1727). Благодаря своим трем законам движения и закону тяготения Ньютон обеспечил современному понятию научного закона повсеместное восприятие. Его законы используются для расчета орбит Земли, Луны и планет и объясняют такие явления, как приливы. Те немногие уравнения, которые он разработал, и детально развитая нами впоследствии на их основе математическая структура до сих пор преподаются и широко используются — проектирует ли архитектор здание, конструирует ли инженер автомобиль, выполняет ли физик расчеты параметров полета ракеты, которая должна достичь Марса. Как сказал английский поэт Александр Поуп:

Природу и ее законы мрак беспросветный сокрывал.
Бог произнес: «Да будет Ньютон!» — и свет над миром воссиял[1].

---

[1] Перевод Г. А. и Т. Б. Бурба.

Сегодня большинство ученых сказали бы, что закон природы — это правило, основанное на наблюдаемой повторяемости и обеспечивающее прогнозы, выходящие за пределы тех непосредственных ситуаций, на которых оно основывается. Например, мы могли бы заметить, что каждое утро в нашей жизни солнце восходит на востоке, и сформулировать закон: «Солнце всегда восходит на востоке». Это обобщение выходит за пределы наших ограниченных наблюдений восходящего солнца и дает проверяемый прогноз на будущее. С другой стороны, такое утверждение, как «Компьютеры в нашем офисе черные», не является законом природы, ибо относится только к компьютерам в пределах офиса и не дает прогнозов, подобных, например, такому: «Если наш офис купит новый компьютер, он будет черным».

Современное понимание термина «закон природы» является вопросом, который обсуждается философами на протяжении длительного времени, и это более тонкий вопрос, чем может показаться на первый взгляд. Например, современный американский философ Джон Кэрролл сравнил утверждение «У всех золотых шаров диаметр меньше мили» с утверждением «У всех шаров из урана-235 диаметр меньше мили». Наши наблюдения за окружающим миром свидетельствуют, что не существует золотых шаров поперечником больше мили, и мы можем быть вполне уверены, что их никогда не будет. И все же у нас нет основания полагать, что их не может быть вовсе, поэтому такое утверждение не считается законом. С другой стороны, утверждение «У всех шаров из урана-235 диаметр меньше мили» может считаться законом природы, так как, согласно нашим знаниям по ядерной физике, если шар из урана-235 достигнет размеров больше шести дюймов в диаметре, он сам себя уничтожит ядерным взрывом. Следовательно, мы можем быть уверены, что таких шаров не существует (а предложение попытаться сделать подобный шар нельзя отнести к хорошим идеям). Это важное

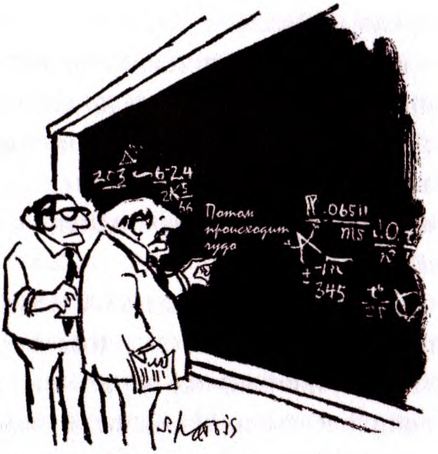
различие, так как оно наглядно показывает, что не все обобщения, выведенные из наших наблюдений, можно считать законами природы и что большинство законов природы существует как часть более крупной системы взаимосвязанных законов.

В современной науке законы природы обычно выражаются математически. Они могут быть точными или приближенными, но должны основываться на проведенных наблюдениях и неукоснительно соблюдаться — если не всегда и везде, то, по крайней мере, при оговоренном перечне условий. Например, теперь мы знаем, что законы Ньютона должны быть изменены, если объекты перемещаются со скоростями, близкими к скорости света. И все же мы считаем, что законы Ньютона остаются законами, поскольку они соблюдаются, по крайней мере с хорошей степенью приближения, в условиях повседневной жизни, где мы имеем дело со скоростями много ниже скорости света.

Если природой управляют законы, то возникает три вопроса:

1) Каково происхождение этих законов?
2) Бывают ли исключения из этих законов, то есть чудеса?
3) Имеется ли только один набор возможных законов?

Эти важные вопросы в той или иной форме ставили перед собой ученые, философы и теологи. Традиционный ответ на первый вопрос — ответ Кеплера, Галилея, Декарта и Ньютона — состоял в том, что эти законы созданы Богом. Однако это не более чем определение Бога как воплощения законов природы. Если только не наделить Бога некоторыми другими признаками, например присущими Богу Ветхого Завета, то обращение к Богу для ответа на первый вопрос лишь заменяет одну загадку на другую. Поэтому если мы прибегаем к Богу, отвечая на первый вопрос, то со вторым вопросом, касающимся чудес, исключений из законов, — настоящая беда.



«Думаю, второй шаг вам нужно проработать глубже».

Мнения относительно ответа на второй вопрос резко разделились. Платон и Аристотель, самые влиятельные древнегреческие авторы, считали, что из законов не может быть исключений. Но если принять точку зрения Библии, то Бог не только создал законы — к нему можно воззвать в молитве с просьбой сделать исключение: вылечить смертельно больного, досрочно прекратить засуху или снова включить крокет в список олимпийских видов спорта. В противовес мнению Декарта почти все христианские мыслители утверждали, что Бог должен быть способен приостановить действие законов, чтобы совершать чудеса. Даже Ньютон верил в подобные вещи. Он считал, что орбиты планет должны быть нестабильны, поскольку гравитационное притяжение одной планеты к другой влечет за собой искажение орбит, которое со временем будет увеличиваться и приведет к тому, что планеты либо упадут на Солнце, либо улетят из Солнечной системы. Он полагал, что Бог должен постоянно поправлять орбиты — «заводить небесные часы, чтобы они шли без остановки». Однако французский математик и астроном

Пьер Симон маркиз де Лаплас (1749–1827), более известный просто как Лаплас, утверждал, что подобные деформации орбит должны быть периодическими, то есть происходить в виде повторяющихся циклов, а не накапливаться. Таким образом, Солнечная система способна сама перезапускаться и нет нужды в Божественном вмешательстве для объяснения, почему она сохранилась по сей день.

Считается, что именно Лаплас первым четко сформулировал принцип научного детерминизма: учитывая состояние Вселенной в некое время, полный набор законов определяет как будущее, так и прошлое. Это исключало бы возможность чудес и активную роль Бога. Принцип научного детерминизма, сформулированный Лапласом, является ответом современного ученого на второй вопрос. Фактически этот принцип служит основой всей современной науки, и именно к нему привлекается внимание на протяжении всего нашего повествования. Научный закон не является таковым, если он выполняется только до тех пор, пока не решит вмешаться какое-либо сверхъестественное существо. Говорят, что Наполеон, признавая это, спросил Лапласа, как в такую картину вписывается Бог. Лаплас ответил: «Сир, я не нуждался в этой гипотезе». Поскольку люди живут во Вселенной и взаимодействуют с другими объектами в ней, то принцип научного детерминизма должен выполняться также и для людей. Однако многие, признавая, что физические процессы подчиняются принципу научного детерминизма, делают исключение для человеческого поведения, поскольку верят, что мы обладаем свободой воли. Декарт, например, чтобы сохранить идею о свободе воли, заявил, что человеческий разум — это нечто отличное от физического мира и не подчиняется его законам. По его мнению, человек состоит из двух частей — тела и души. Тело — это не что иное, как механизм, а вот душа не является предметом, имеющим отношение к научным законам.

Декарт очень интересовался анатомией и психологией и считал вместилищем души крошечный орган в мозге — эпифиз, или шишковидную железу. Он полагал, что именно в нем формируются все наши мысли, а значит, он и есть источник свободы воли.

Обладают ли люди свободой воли? Если у нас есть свобода воли, то на каком этапе эволюции она возникла? Есть ли свобода воли у синезеленых водорослей и бактерий, или же их поведение непроизвольно и они находятся во власти научных законов? Только ли многоклеточные организмы обладают свободой воли? Или лишь млекопитающие? Мы можем допустить, что свободу воли проявляет шимпанзе, когда решает перекусить бананом, или кошка, когда дерет ваш диван. Но что можно сказать о круглых червях Caenorhabditis elegans — простейших существах, состоящих всего из 959 клеток? Пожалуй, они никогда не подумают: «Чертовски вкусная бактерия попалась мне вон там давеча на обед», — но тем не менее и они тоже имеют определенные предпочтения в еде и либо согласятся на непривлекательную пищу, либо отправятся добывать что-нибудь повкуснее — в зависимости от недавнего опыта. Можно ли это считать проявлением свободы воли?

Хотя мы думаем, что способны делать осознанный выбор, наши познания в области молекулярных основ биологии свидетельствуют, что биологические процессы подчиняются законам физики и химии, а потому столь же детерминированы, как и орбиты планет. Недавние эксперименты в области неврологии подтверждают мнение о том, что наши поступки определяются нашим мозгом, который подчиняется известным научным законам, а не какой-то силе, существующей вне этих законов. Например, наблюдения за пациентами с поражением головного мозга показали, что путем электростимуляции соответствующих участков мозга можно вызвать у больного желание сделать движение кистью

руки, плечом, ступней или открыть рот и что-то сказать. Трудно себе представить, как может проявляться свобода воли, если наше поведение определяется физическими законами. Поэтому, похоже, мы представляем собой не что иное, как биологические машины, а свобода воли просто иллюзия.

Если считать, будто поведение людей действительно подчиняется законам природы, то кажется разумным следующий вывод: результат определяется столь сложно и со столь многими вариациями, что делать какие-либо прогнозы практически невозможно. Для этого нужно знать начальное состояние каждой из тысячи триллионов триллионов молекул человеческого тела и решить такое же количество уравнений. Это займет не один миллиард лет, и мы несколько запоздаем уклониться от удара, который намеревается нанести нам стоящий рядом человек.

Поскольку крайне непрактично использовать для предсказания человеческого поведения основополагающие физические законы, мы придерживаемся так называемой эффективной теории. Эффективная теория в физике — это каркас, созданный, чтобы моделировать определенные наблюдаемые явления, не описывая в деталях лежащие в их основе процессы. Например, мы не можем точно решить уравнения, управляющие гравитационными взаимодействиями каждого атома в человеческом теле с каждым атомом Земли. Но для всех практических целей гравитационное взаимодействие человека с Землей можно описать всего лишь несколькими числами, — например, числом, определяющим массу тела человека. Мы также не можем решить уравнения, определяющие поведение сложных атомов и молекул, но мы разработали эффективную теорию под названием химия, которая дает достаточно полное объяснение того, как атомы и молекулы ведут себя в химических реакциях, без рассмотрения всех подробностей их взаимодействий. Поскольку мы не в состоянии решить уравнения, определяющие наше

поведение, то применительно к человеку пользуемся эффективной теорией о том, что люди обладают свободой воли. Изучением нашей воли и зависящего от нее поведения занимается наука психология. Экономика — это тоже эффективная теория, основанная на понятии «свобода воли» и предположении о том, что люди оценивают возможные альтернативные способы действия и выбирают наилучший. Эта эффективная теория не всегда может предсказать поведение системы, потому что, как известно, решения зачастую нерациональны или основаны на ошибочном анализе последствий нашего выбора. Вот почему в мире такой кавардак.

Третий вопрос касается того, уникальны ли законы, определяющие поведение Вселенной и человека. Если на первый вопрос вы ответили, что законы создал Бог, то теперь спрашивается: было ли у Бога разнообразие при выборе этих законов? Аристотель, Платон и Декарт, а позднее и Эйнштейн полагали, что законы природы существуют «по необходимости», то есть потому, что они — единственные правила, имеющие логический смысл. Веря в изначальную логичность законов природы, Аристотель и его последователи понимали, что можно вывести эти законы, не обращая особого внимания на то, как в действительности ведет себя природа. Эта вера и акцент на вопросе, почему объекты подчиняются правилам, а не на том, каковы сами эти правила, привели Аристотеля к открытию преимущественно качественных законов, которые часто оказывались ошибочными и в любом случае были не особенно полезными, хотя и господствовали в научном мире много столетий. Уже гораздо позже такие люди, как Галилей, осмелились бросить вызов авторитету Аристотеля и стали наблюдать за действительным поведением природы, а не за тем, что велит ей делать «причина» как таковая.

Эта книга основывается на концепции научного детерминизма, который предполагает, что ответ на второй вопрос таков:

не бывает чудес, то есть исключений из законов природы. Тем не менее мы вернемся ко второму и третьему вопросам, чтобы поглубже разобраться в том, откуда взялись законы природы и являются ли они единственно возможными. Но сначала, в следующей главе, мы рассмотрим, что же описывают законы природы. Большинство ученых сказали бы, что законы представляют собой математическое отражение внешней реальности, существующей независимо от наблюдателя, который ее видит. Но если мы задумаемся над способом, которым мы проводим наблюдения и которым формируем концепцию о том, что нас окружает, то есть ли у нас причина верить, будто объективная реальность существует?

UNITED STATES
20c

3

ЧТО ТАКОЕ РЕАЛЬНОСТЬ

В ИТАЛЬЯНСКОМ ГОРОДЕ МОНЦА несколько лет назад муниципальный совет запретил жителям держать золотых рыбок в шаровидных аквариумах. Инициатор этой меры объяснил запрет тем, что держать рыбку в сосуде с изогнутыми стенками жестоко, потому что, глядя наружу, рыбка видит искаженную картину реальности. Но откуда нам знать, видим ли мы сами истинную, а не искаженную картину реальности? Разве нельзя предположить, что и мы находимся внутри некоего большого искривленного аквариума и видим всё искаженным огромной линзой? Картина реальности с точки зрения золотой рыбки отличается от нашей, но можем ли мы утверждать, что она менее реальна, чем наша?

Золотая рыбка видит мир не таким, как мы, тем не менее она тоже могла бы сформулировать законы, управляющие движением предметов, которые видит за пределами своего аквариума. Например, свободно движущийся предмет, который для нас перемещается по прямой, для золотой рыбки движется по кривой вследствие искажения вида выпуклыми стенками аквариума. Тем не менее рыбка могла бы сформулировать научные законы в своей искаженной системе отсчета, и они всегда будут выпол-

няться, что позволит предсказывать движение предметов вне аквариума. Эти законы будут сложнее, чем в нашей системе отсчета, но простота — дело вкуса. Если бы золотая рыбка сформулировала такую теорию, то нам пришлось бы признать ее ви́дение реальности столь же правомерным, как наше.

Знаменитый пример различных картин реальности — модель, введенная около 150 года древнегреческим ученым Клавдием Птолемеем (ок. 90 — ок. 160) для описания движения небесных тел. Птолемей опубликовал свою работу в тринадцатитомном трактате, широко известном под его арабским названием «Альмагест» («Великая книга»). «Альмагест» начинается с объяс-

Вселенная Птолемея. Птолемей полагал, что мы находимся в центре Вселенной.

нения причин, позволяющих считать Землю сферической, неподвижной, расположенной в центре Вселенной и ничтожно малой по сравнению с расстоянием до небес. Несмотря на существование гелиоцентрической модели Аристарха, взглядов Птолемея придерживалось большинство образованных греков, по крайней мере со времен Аристотеля, который по мистическим соображениям считал, что Земля должна находиться в центре Вселенной. В модели Птолемея неподвижная Земля расположена в центре, а планеты и звезды движутся вокруг нее по сложным орбитам, как колеса, катящиеся по колесам, — совершая движение по малому кругу (эпициклу), передвигающемуся по большому кругу, в центре которого и находится Земля.

Такая модель казалась естественной, так как мы не чувствуем, что Земля у нас под ногами движется (разве что при землетрясениях или в моменты страсти). Впоследствии европейское обучение основывалось на сохранившихся греческих источниках, так что идеи Аристотеля и Птолемея стали в значительной степени основой для западной мысли. Птолемеева модель космоса была принята католической церковью и сохранялась как официальная доктрина в течение четырнадцати веков. Только в 1543 году появилась альтернативная модель, которую выдвинул польский астроном Николай Коперник (1473–1543) в своей книге «De revolutionibus orbium coelestium» («О вращениях небесных сфер»), опубликованной лишь в год его смерти (хотя разрабатывал он свою теорию в течение нескольких десятилетий).

Коперник, как и Аристарх почти за семнадцать веков до него, описал мир, в котором Солнце пребывало в покое, а планеты двигались вокруг него по круговым орбитам. Хотя идея была не нова, ее возрождение было встречено яростным сопротивлением. Модель Коперника сочли противоречащей Библии, ссылаясь на то, что в Библии говорится о движении планет вокруг Земли, хотя нигде в ней об этом четко не сказано. На самом же

деле в то время, когда была написана Библия, люди считали, что Земля плоская. Модель Коперника вызвала ожесточенные дебаты о том, неподвижна ли Земля. Кульминацией этих дебатов стал в 1633 году суд над обвиненным в ереси Галилео Галилеем, который защищал модель Коперника и считал, «что допустимо иметь мнение и отстаивать его как возможное, после того как было установлено и объявлено, что оно противоречит Священному Писанию». Галилей был признан виновным, приговорен к пожизненному домашнему аресту и принужден высказать отречение от своих взглядов. По преданию, он прошептал: «Eppur si muove» («И все-таки она вертится»). В 1992 году Римско-католическая церковь наконец признала, что была не права в осуждении Галилея.

Так что же соответствует реальности — система Птолемея или Коперника? Нередко говорят, что Коперник доказал неправоту Птолемея, но это неверно. Как и в случае сравнения нашего нормального взгляда на мир со взглядом золотой рыбки, любая из двух картин может считаться моделью Вселенной, поскольку объяснить то, что мы наблюдаем на небе, можно, допуская неподвижность как Земли, так и Солнца. Помимо той роли, которую система Коперника сыграла в философских дебатах о природе нашей Вселенной, ее бесспорное преимущество уже в том, что в рамках системы с неподвижным Солнцем уравнения движения оказываются намного проще.

Альтернативная реальность другого типа представлена в фантастическом фильме «Матрица», где люди, сами того не осознавая, живут в смоделированной виртуальной реальности, созданной компьютерами с искусственным интеллектом для того, чтобы поддерживать людей умиротворенными и довольными, в то время как компьютеры подпитываются от них биоэлектрической энергией (кто его знает, что это такое!). Возможно, это не так уж далеко от реальности, поскольку многие из нас предпочитают

проводить свое время в искусственно созданной реальности на веб-сайтах вроде «Second Life» («Вторая жизнь»). А как мы можем узнать, не являемся ли мы сами всего лишь персонажами в сериале, сочиненном компьютером, подобно герою Джима Кэрри в фильме «Шоу Трумана»? Если бы мы жили в искусственном, воображаемом мире, события необязательно были бы логически связанными, необязательно подчинялись бы законам. Инопланетянам, управляющим таким миром, было бы интереснее наблюдать за нашими действиями в такой, например, ситуации, когда полная Луна расколется пополам или когда всех сидящих на диете охватит неодолимая тяга к тортам с банановым кремом. Но если бы инопланетяне действовали строго по законам, то было бы невозможно определить, что существует другая реальность, скрытая за искусственно созданной. Мы с легкостью могли бы назвать мир, где живут инопланетяне, реальным, а мир, созданный с помощью компьютеров, — ложным. Но если, подобно нам, существа в искусственно созданном мире не могут взглянуть на свою вселенную со стороны, то у них не будет причины для того, чтобы усомниться в собственных картинах реальности. Таков современный вариант представления о том, что все мы являемся персонажами в чьем-то сне.

Эти примеры приводят нас к заключению, которое будет важным в данной книге: **не существует концепции реальности, не зависящей от картины мира, или от теории**. Мы же вместо этого примем точку зрения, которую станем называть **моделезависимым реализмом**, — идею о том, что любая физическая теория или картина мира представляет собой модель (как правило, математической природы) и набор правил, соединяющих элементы этой модели с наблюдениями. Это дает основу для интерпретации современных научных данных.

Начиная с Платона философы веками спорили о природе реальности. Классическая наука основывается на вере, что суще-

ствует реальный внешний мир, свойства которого вполне определены и не зависят от наблюдателя, который их постигает. Согласно классической науке, в мире существуют объекты, у них есть физические свойства, такие как скорость и масса, которые обладают четко определенными значениями. С этой точки зрения наши теории представляют собой попытки описать эти объекты и их свойства, а наши измерения и восприятия соответствуют им. И наблюдатель, и наблюдаемый объект — части объективно существующего мира, и любое различие между ними не имеет решающего значения. Иными словами, если вы видите стадо зебр, дерущихся за место в гараже, это происходит потому, что это действительно стадо зебр, дерущихся за место в гараже. Все остальные наблюдатели увидят такие же свойства, а стадо будет иметь те же самые характеристики независимо от того, наблюдают за ним или нет. В философии эту веру называют реализмом. Хотя реализм может быть заманчивой точкой зрения, но, как мы увидим далее, то, что нам известно о современной физике, вызывает трудности в его отстаивании. Например, со-

гласно принципам квантовой физики, которая является точным описанием природы, частица не имеет ни определенного положения, ни определенной скорости, до тех пор пока эти величины не измерены наблюдателем. Стало быть, неправильно утверждать, что измерение дает определенный результат только потому, что измеряемая величина имела это значение во время измерения. На самом деле в некоторых случаях отдельные объекты даже не существуют сами по себе, а существуют лишь как часть ансамбля. И если теория, называемая голографическим принципом, окажется верной, то мы вместе с нашим четырехмерным миром можем оказаться лишь тенью на границе большего, пятимерного, пространства-времени. В этом случае наше положение во Вселенной буквально аналогично положению золотой рыбки внутри аквариума.

Строгие реалисты часто утверждают: доказательство того, что научные теории отображают реальность, состоит в их успешном применении. Но другие теории могут столь же успешно описывать подобные явления через совершенно иные концептуальные схемы. На деле многие научные теории, которые считались успешными, впоследствии были заменены другими столь же успешными теориями, основанными на совершенно иных концепциях реальности. Тех, кто не принимает реализма, обычно называли антиреалистами. Антиреалисты полагают, что есть различие между эмпирическим знанием и теоретическим. Они, как правило, заявляют: наблюдение и эксперимент значимы, а теории — это только полезные инструменты, которые не воплощают более глубоких истин, лежащих в основе наблюдаемых явлений. Некоторые антиреалисты даже хотели ограничить науку лишь тем, что доступно наблюдениям. Поэтому в XIX веке многие отвергали идею атомов на том основании, что мы никогда их не увидим. Английский философ Джордж Беркли (1685–1753) дошел даже до того, что заявил, будто не существует ничего, кроме

сознания и мыслей. Когда один из друзей сказал английскому поэту и лексикографу доктору Сэмюэлу Джонсону (1709–1784), что утверждение Беркли невозможно опровергнуть, то в ответ Джонсон, как рассказывают, подошел к большому камню, пнул его и заявил: «Я опровергаю это». Конечно же, боль, которую доктор Джонсон ощутил в ноге, стала тоже лишь мыслью в его сознании, так что на самом деле идею Беркли он не опроверг. Но его действие проиллюстрировало точку зрения шотландского философа Дэвида Юма (1711–1776), который писал, что, хотя мы и не имеем рациональных оснований верить в объективную реальность, у нас все же не остается иного выбора, кроме как действовать так, будто она есть.

Моделезависимый реализм прекращает все эти споры и дискуссии между философскими школами реалистов и антиреалистов. Согласно моделезависимому реализму, не имеет смысла

«У вас много общего. Доктор Дэвис открыл частицу, которую никто никогда не видел, а профессор Хигби открыл галактику, которую тоже никто никогда не видел».

спрашивать, реальна или нет модель мира, важно одно: соответствует ли она наблюдениям. Если каждая из двух моделей соответствует наблюдениям (как картины мира золотой рыбки в аквариуме и наша), то нельзя сказать, что какая-то из них более реальна, чем другая. Можно использовать ту модель, которая удобнее в данной ситуации. Например, тому, кто оказался в сферическом аквариуме, больше подойдет модель мира золотой рыбки, а тому, кто снаружи, будет весьма затруднительно описывать события, происходящие в удаленной галактике, с точки зрения рыбки в аквариуме, который находится на Земле, тем более что аквариум будет двигаться, поскольку Земля перемещается по орбите вокруг Солнца и вращается вокруг своей оси.

Мы создаем модели в науке, но также создаем их и в повседневной жизни. Моделезависимый реализм применим не только к научным моделям, но и к сознательным и подсознательным мысленным моделям, которые все мы создаем, чтобы интерпретировать и понять повседневность. Невозможно исключить наблюдателя — нас самих — из нашего восприятия мира, которое создается с помощью наших чувств и путем мышления и рассуждения. Наше восприятие (а следовательно, и наблюдения, на которых основываются наши теории) является не непосредственным, а формируется своего рода линзой — способностью человеческого мозга к интерпретации.

Моделезависимый реализм находится в соответствии с нашим восприятием объектов. Когда мы видим что-то, мозг получает последовательные сигналы через оптический нерв. Эти сигналы не формируют целого образа, подобного тому, какой вы видите на экране телевизора. Есть слепое пятно, где оптический нерв соединяется с сетчаткой, и единственная часть вашего поля зрения с хорошим разрешением — это узкая область примерно в один градус угла зрения вокруг центра сетчатки, область шириной с ваш большой палец, если смотреть на расстоянии вытяну-

той руки. Так что исходные данные поступают в мозг в виде сильно размытой картинки, да еще и с дырой в ней. К счастью, человеческий мозг обрабатывает эти данные, объединяя информацию, получаемую от обоих глаз, и заполняет пробелы, интерполируя в предположении о том, что визуальные свойства соседних участков схожи. Более того, он считывает двухмерную совокупность данных с сетчатки и создает из нее образ в трехмерном пространстве. Иными словами, мозг строит мысленную картину, или модель.

Мозг настолько искусен в построении моделей, что если бы у людей были очки, которые переворачивают изображение вверх ногами, то их мозг через некоторое время изменил бы модель так, что они снова стали бы видеть мир неперевернутым. Если затем снять очки, то мир некоторое время будет видеться перевернутым, а потом снова произойдет адаптация. Это значит, что когда говорят: «Я вижу стул», то имеют в виду лишь свет, рассеянный стулом для создания мысленного образа, или модели, стула. Если модель перевернута, то можно надеяться, что мозг скорректирует ее, прежде чем человек попытается сесть на этот стул.

Другой проблемой, которую моделезависимый реализм решает или, по крайней мере, избегает, является толкование существования. Откуда мне знать, существует ли еще стол, если я вышел из комнаты и не вижу его? И что значит, когда говорят, будто вещи, которые мы не можем увидеть, существуют, — например, электроны или кварки (частицы, составляющие протоны и нейтроны)? Можно пользоваться моделью, в которой стол исчезает, когда я выхожу из комнаты, и снова появляется на том же месте, когда я возвращаюсь, но такая модель будет непрочной — ведь как быть, если во время моего отсутствия что-то случится, например обвалится потолок? Как эта модель со столом, исчезающим после моего ухода из комнаты, сможет объяснить тот факт, что при моем следующем появлении в комнате там возникнет сломанный стол,

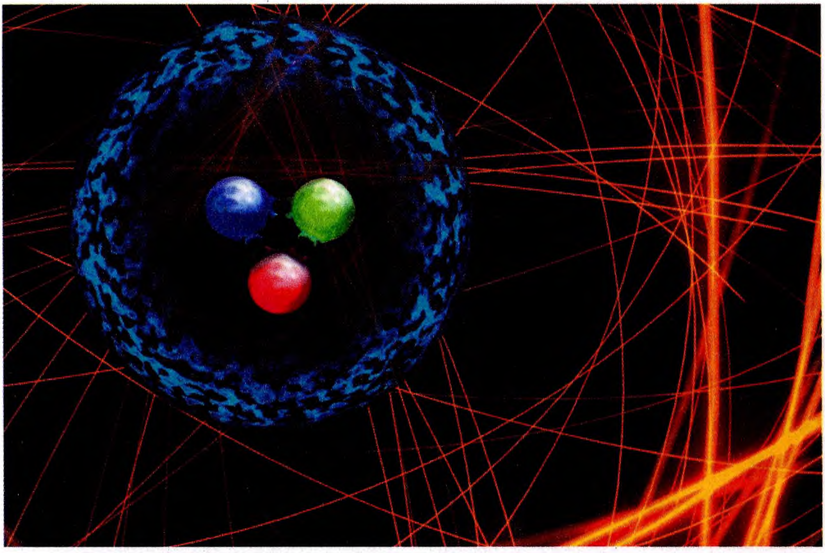
а на нем — куски штукатурки? Модель, в которой стол остается в комнате, гораздо проще и согласуется с наблюдениями. Вот и весь разговор. В случае с субатомными частицами, которые мы не можем видеть, электроны представляют собой удобную модель, объясняющую такие явления, как треки в камере Вильсона и пятнышки света на телевизионной трубке, а также многие другие явления. Электрон был открыт в 1897 году британским физиком Дж. Дж. Томсоном (1856–1940) из Кавендишской лаборатории Кембриджского университета. Он проводил опыты с электрическим током внутри пустых стеклянных трубок — это явление известно как катодные лучи. Опыты натолкнули его на смелую мысль о том, что таинственные лучи состоят из мельчайших корпускул, представляющих собой материальные элементы атомов, считавшихся в то время неделимыми фундаментальными единицами вещества. Томсон не видел электрон, и его догадка не была

Катодные лучи. Мы не можем увидеть отдельные электроны, но видим производимый ими эффект.

непосредственно или однозначно продемонстрирована в ходе опытов. Но предложенная им модель показала свою незаменимость в повсеместном применении — от фундаментальной науки до инженерных проектов, и сегодня все физики верят в электроны, несмотря на то что никто не может увидеть их.

Кварки, которые мы также не можем увидеть, являются моделью для объяснения свойств протонов и нейтронов в ядре атома. Хотя считается, что протоны и нейтроны состоят из кварков, мы никогда не увидим кварка, поскольку сила, связывающая кварки, увеличивается при разделении, и поэтому отдельные, свободные, кварки в природе не могут существовать. Они объединены в группы из трех кварков (это протоны и нейтроны) или из кварка и антикварка (пи-мезоны) и ведут себя так, словно связаны резиновой лентой.

Вопрос о том, допустимо ли говорить, что кварки реально существуют, если невозможно выделить один кварк, обсуждался на протяжении нескольких лет, после того как впервые была предложена модель кварка. Представление о том, что определенные частицы состоят из разных комбинаций нескольких «суб-субъядерных частиц», привело к принципу, позволяющему дать простое и привлекательное объяснение их свойствам. Но, хотя физики привыкли признавать частицы, существование которых только предполагалось по статистическим всплескам в данных, относящихся к рассеянию других частиц, мысль о том, чтобы считать реальной частицу, которая в принципе ненаблюдаема, показалась многим выходящей за рамки допустимого. Однако годы спустя, когда модель кварков стала приводить ко все более точным предсказаниям, это сопротивление ослабло. Конечно, возможно, что какие-нибудь инопланетяне с семнадцатью руками, инфракрасными глазами и ушами, из которых разлетаются топленые сливки, проводили точно такие же опыты, что и мы, но объяснили полученные результаты, не прибе-



Кварки. Концепция кварков — крайне важный элемент в наших теориях фундаментальной физики, несмотря на то что наблюдать отдельные кварки невозможно.

гая к такому понятию, как кварк. Тем не менее, согласно моделезависимому реализму, кварки существуют в модели, которая совпадает с нашими наблюдениями за поведением субъядерных частиц.

Моделезависимый реализм может дать основу для обсуждения вопросов, подобных вот такому: что происходило до создания мира, если он был создан конечное время назад? Христианский философ Августин Блаженный (354–430) считал, что ответ не в том, что Бог уготовил ад для людей, задающих подобные вопросы, а в том, что время — это свойство созданного Богом мира и его не существовало до сотворения мира, которое, по мнению философа, произошло не так уж давно. Это одна из возможных моделей, полюбившаяся тем, кто утверждает, будто расчет времени, данный в Книге Бытия, верен буквально, несмотря на то

что в мире встречаются окаменелости и другие свидетельства, доказывающие, что мир намного старше. (Они что, были подброшены, чтобы дурачить нас?) Кто-то может придерживаться другой модели, согласно которой время длится уже 13,7 миллиарда лет, считая от Большого взрыва. Эта модель, объясняющая большинство наших нынешних наблюдений, включая исторические и геологические свидетельства, является лучшим из имеющихся представлений о прошлом. Она может объяснить и окаменелости, и данные радиоуглеродного анализа, и то, что до нас доходит свет от галактик, расположенных в миллионах световых лет от нас. Поэтому вторая модель — теория Большого взрыва — более приемлема для нас, чем первая. И все же ни одну из них нельзя считать более реальной.

Некоторые признают модель мира, в которой время существовало и до Большого взрыва. Пока неясно, насколько она лучше для объяснения нынешних наблюдений, поскольку представляется, что при Большом взрыве законы развития Вселенной могли кардинально измениться. Если это произошло, то нет смысла создавать модель, включающую в себя время до Большого взрыва, поскольку все, что существовало ранее, не имеет наблюдаемых последствий в настоящем, и поэтому мы можем твердо придерживаться идеи, рассматривающей Большой взрыв как акт творения мира.

Любая модель хороша, если она:

1) простая (или «изящная»);

2) содержит мало произвольных или уточняющих элементов;

3) согласуется со всеми существующими наблюдениями и объясняет их;

4) дает подробные предсказания результатов будущих наблюдений, которые могут опровергнуть эту модель или доказать ее ложность, если предсказания, сделанные по этой модели, не подтверждаются.

Например, теория Аристотеля о том, что мир состоит из четырех элементов — земли, воздуха, огня и воды — и что объекты действуют так, чтобы выполнить свое предназначение, была изящна и не содержала уточняющих элементов. Но во многих случаях она не могла дать четких предсказаний, а если и давала, то эти предсказания не согласовывались с наблюдениями. Одно из таких предсказаний гласило, что более тяжелые предметы должны падать быстрее, поскольку их предназначение — падать. И похоже, никто до Галилея не счел нужным проверить это. Известна история о том, как он проверял это, бросая предметы различной массы с «падающей» Пизанской башни. Рассказ, скорее всего, недостоверный, а вот точно известно, что Галилей скатывал разные грузы по наклонной плоскости и заметил, что вопреки предсказанию Аристотеля они движутся с одинаковым ускорением.

Приведенные выше критерии, очевидно, субъективны. Например, изящность не так легко измерить, но она высоко ценится среди ученых, поскольку законы природы предполагают экономное сжатие множества частных случаев в одну простую формулу. Изящество относится к форме теории, но оно тесно связано с отсутствием в ней уточняемых элементов, поскольку теория, напичканная выдуманными для каждого конкретного случая факторами, не очень изящна. Перефразируя Эйнштейна, можно сказать: теория должна быть простой настолько, насколько это возможно, но не проще. Птолемей добавил к круговым орбитам небесных тел эпициклы, чтобы его модель точно описывала их движение. Для еще большей точности можно было бы добавить эпициклы к эпициклам или даже еще один ряд эпициклов. Хотя дополнительное усложнение может сделать модель более точной, ученые рассматривают модель, которая искажена, чтобы соответствовать определенному набору наблюдений, как неудовлетворительную, более похожую на каталог

данных, чем на теорию, которая может воплотить какой-нибудь полезный принцип.

В главе 5 мы увидим, что многие не считают изящной «стандартную модель», описывающую взаимодействие природных элементарных частиц. Эта модель гораздо удачнее, чем Птолемеевы эпициклы. Она предсказала существование нескольких новых частиц, прежде чем они были замечены, и с большой точностью описала будущие результаты многих экспериментов, проводившихся в течение нескольких десятилетий. Но она содержит десятки уточняющих параметров, значения которых должны устанавливаться, чтобы соответствовать наблюдениям, вместо того чтобы эти значения были определены самой теорией.

Что касается четвертого признака «хорошей» модели (способность предсказывать результаты будущих наблюдений), то, с одной стороны, ученых всегда впечатляет, когда новые ошеломительные предсказания оказываются точными, но, с другой стороны, когда модель оказывается неприемлемой, их обычная реакция — заявить, что эксперимент не удался. И даже если это не так, люди все равно зачастую не отказываются от модели, а пытаются сохранить ее путем модификаций. Хотя физики поистине упрямы в своих попытках спасти теорию, которой они восхищаются, попытки преобразовать ее доходят порой до того, что изменения становятся надуманными или громоздкими, а значит, лишенными изящества.

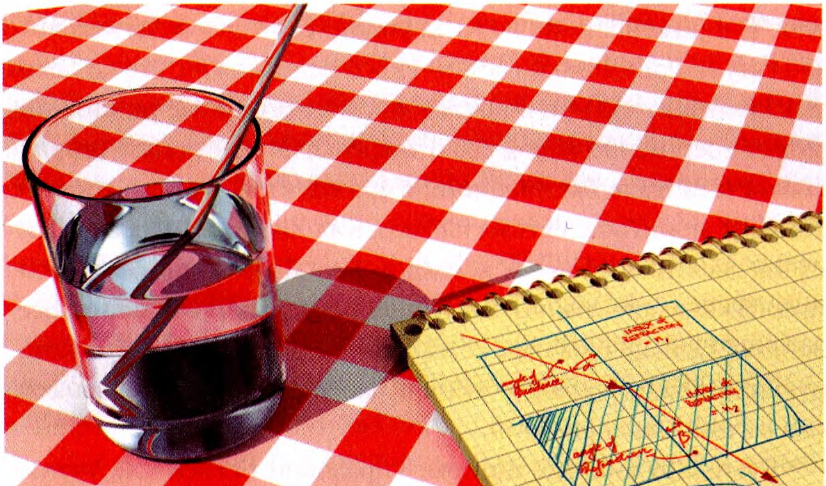
Если изменения, требующиеся для подгонки теории к новым наблюдениям, становятся чересчур изощренными, это сигнал о необходимости новой модели. Примером старой модели, не устоявшей под давлением новых наблюдений, служит идея о статичной Вселенной. В 1920-х годах большинство физиков полагали, что Вселенная статична, то есть не изменяется в размерах. Затем, в 1929 году, американский астроном Эдвин Хаббл (1889–1953) опубликовал свои наблюдения, показывающие, что Все-

ленная расширяется. Но Хаббл не наблюдал это расширение непосредственно. Он наблюдал свет, испускаемый галактиками. Этот свет обладает специфической характеристикой (спектром), связанной с составом каждой галактики. Если галактика движется относительно нас, этот спектр изменяется на известную величину. Поэтому, анализируя спектры удаленных галактик, Хаббл смог определить скорости их движения. Он полагал, что удаляющихся галактик будет обнаружено столько же, сколько и приближающихся. Но вместо этого оказалось, что почти все галактики удаляются от нас и чем дальше они находятся, тем быстрее движутся. Хаббл пришел к выводу, что Вселенная расширяется, но другие ученые, стараясь придерживаться прежней модели, пытались объяснить его наблюдения в контексте статичной Вселенной. Например, физик из Калифорнийского технологического института Фриц Цвикки (1898–1974) предположил, что по некой пока неизвестной причине свет, проходя огромные расстояния, может постепенно терять свою энергию. Это снижение энергии соответствовало бы изменению его спектра, что, по мнению Цвикки, могло повлиять на наблюдения Хаббла. Но и по прошествии десятилетий после исследований Хаббла многие ученые продолжали придерживаться теории о статичном состоянии Вселенной. Однако наиболее естественной моделью была та, которую предложил Хаббл, — модель расширяющейся Вселенной, она и стала общепринятой.

В поисках законов, которые управляют Вселенной, ученые рассмотрели ряд теорий, или моделей, таких как теория четырех элементов, модель Птолемея, теория флогистона, теория Большого взрыва и т. д. С каждой теорией, или моделью, наши представления о реальности и фундаментальных компонентах Вселенной менялись. Возьмем, к примеру, теорию света. Ньютон полагал, что свет состоит из мелких частиц, или корпускул. Это объясняло, почему свет распространяется прямолинейно,

и этим же Ньютон воспользовался для объяснения того, почему свет, переходя из одной среды в другую, например из воздуха в стекло или же из воздуха в воду, изгибается, или преломляется.

Однако корпускулярная теория не могла объяснить явление, которое было обнаружено самим же Ньютоном и называется сегодня кольцами Ньютона. Поместите линзу на плоскую отражающую пластину и осветите ее монохромным светом, например от натриевой лампы. Глядя сверху вниз, вы увидите чередование светлых и темных колец с центром в точке соприкосновения линзы с поверхностью пластины. Этому явлению трудно дать объяснение в рамках корпускулярной теории света, но его можно объяснить с помощью волновой теории.



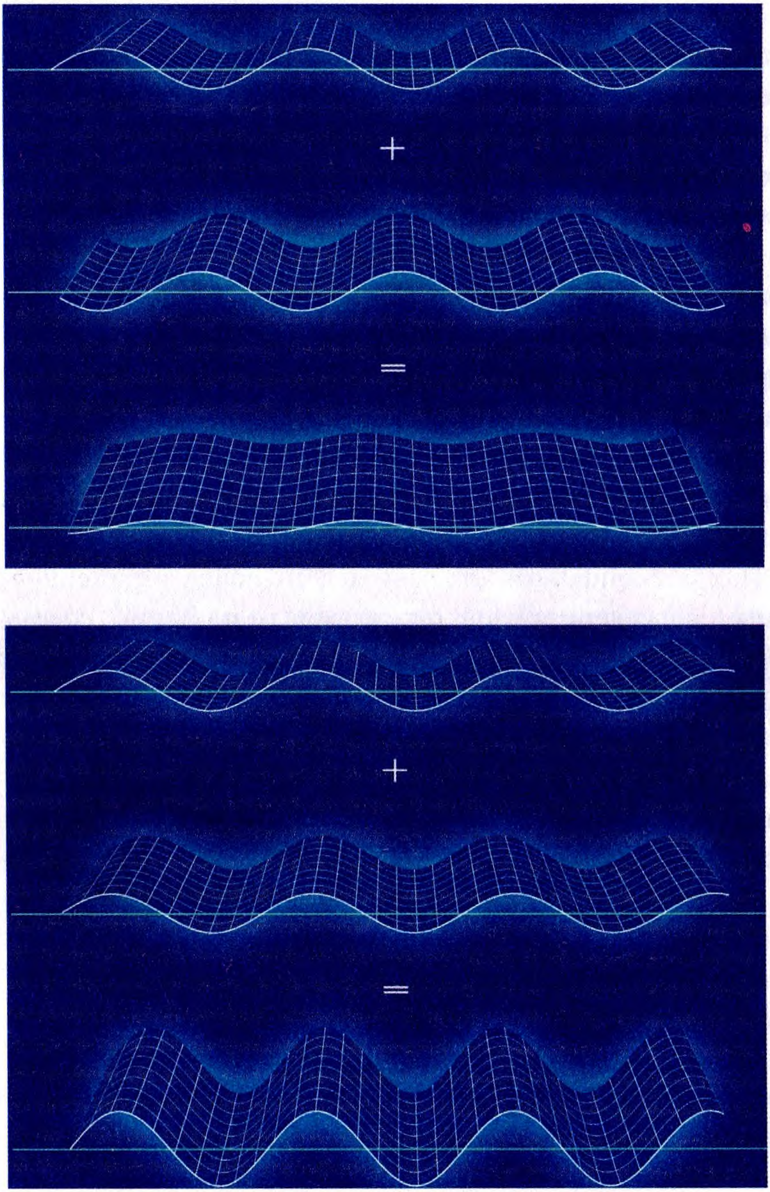
Рефракция. Ньютонова модель света могла объяснить, почему свет преломляется, переходя из одной среды в другую, но не давала объяснения явлению, которое теперь мы называем кольцами Ньютона.

Согласно волновой теории света, светлые и темные кольца вызваны явлением, которое называется интерференцией. Световые волны, так же как волны на воде, состоят из чередующихся гребней и впадин. Если при столкновении волн эти гребни и впадины совпадают, то они усиливают друг друга, образуя более крупную волну. Это называется конструктивной интерференцией. В таком случае говорят, что волны находятся в фазе. В противоположном случае, когда при встрече волн гребень одной волны совпадает со впадиной другой, волны гасят друг друга, и тогда говорят, что волны находятся в противофазе. Такое явление называется деструктивной интерференцией.

В кольцах Ньютона яркие кольца располагаются на таких расстояниях от центра, где промежуток между линзой и находящейся под ней отражающей поверхностью равен целому числу (1, 2, 3...) длин волн. Это означает, что волна, отраженная от линзы, совпадет с волной, отраженной от пластины, создавая конструктивную интерференцию. Темные кольца, в свою очередь, располагаются на таких расстояниях от центра, где промежуток между двумя отраженными волнами равен половинам целых длин волн (1/2, 3/2, 5/2...), что создает деструктивную интерференцию: волна, отраженная от линзы, гасит волну, отраженную от пластины.

В XIX веке это было воспринято как подтверждение волновой теории света и как свидетельство того, что корпускулярная теория неверна. Однако в начале XX века Эйнштейн показал, что фотоэлектрический эффект (теперь используемый в телевидении и цифровых фотоаппаратах) может быть объяснен тем, что частица, или квант света, ударяет по атому и выбивает из него электрон. Таким образом, свет ведет себя и как частица, и как волна.

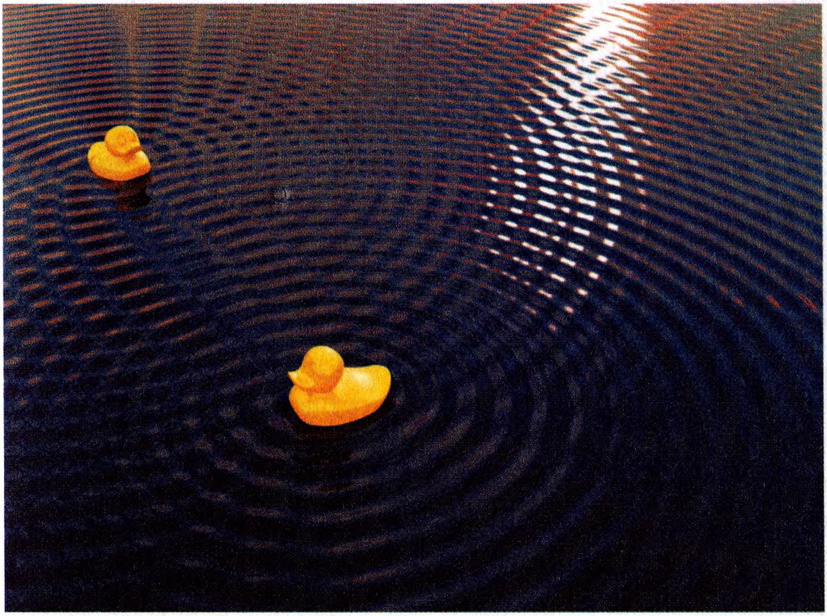
Концепция волн, вероятно, пришла человеку в голову потому, что люди бросают в океан или в лужу камешки и наблюдают



Интерференция. Волны при встрече могут усилить или ослабить друг друга.

за тем, что происходит на поверхности воды. Действительно, если вы когда-нибудь бросали в лужу сразу два камешка, то, вероятно, видели интерференцию в действии, как на иллюстрации ниже. Подобные явления наблюдались и в других жидкостях, за исключением, пожалуй, вина, если выпито его слишком много. Идея о частицах была знакома по камням, гальке и песку. Но вот двойственность (волна-частица) — мысль о том, что объект может быть описан и как частица, и как волна, — чужда нашему повседневному опыту, подобно мысли о том, что можно выпить кусок камня.

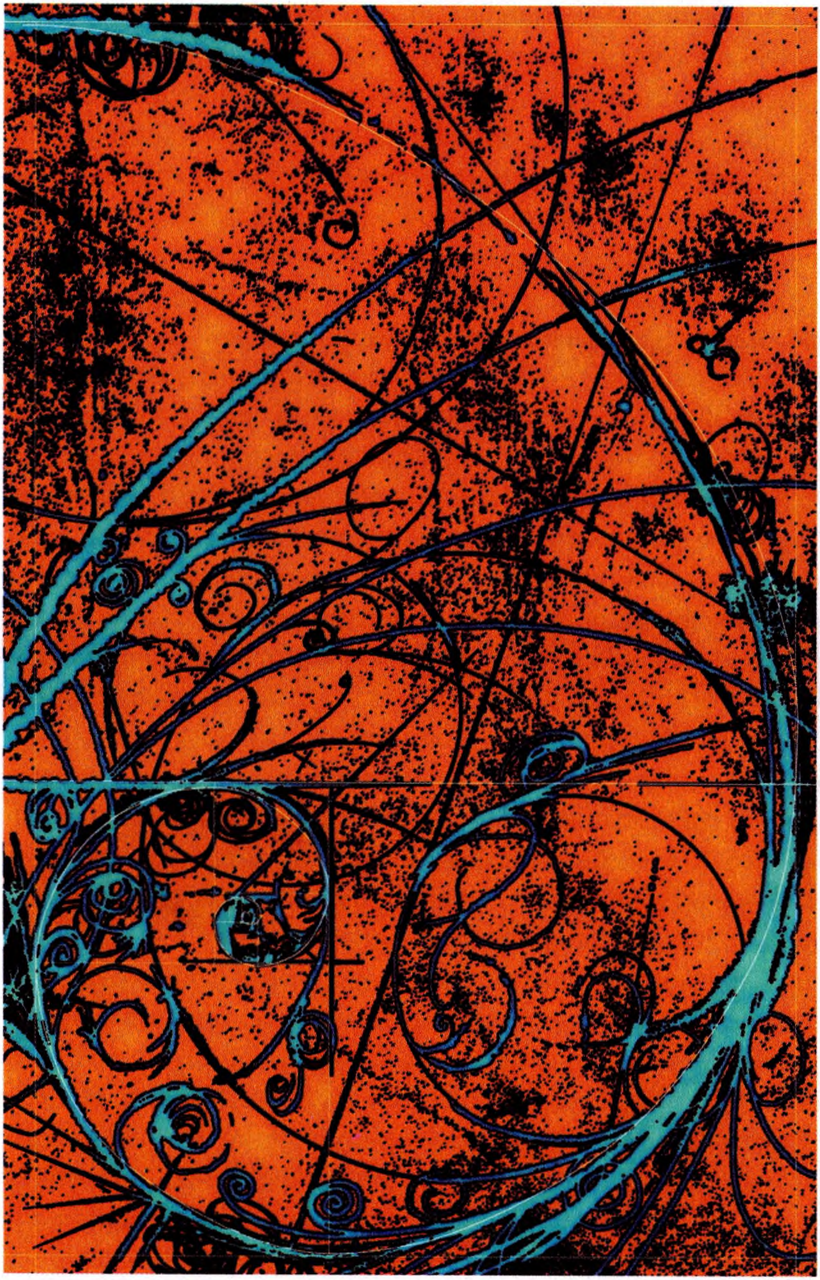
Подобные двойственности — ситуации, когда две разные теории точно описывают одно и то же явление, — вполне укладываются в рамки моделезависимого реализма. Каждая теория



Интерференция в луже. Явление интерференции можно повседневно наблюдать в любых водоемах — от лужи до океана.

может описывать и объяснять определенные свойства, и ни об одной теории нельзя сказать, что она лучше или реальнее другой. Кажется, законы, управляющие Вселенной, похожи на это. Пожалуй, нет единой математической модели, или теории, которая могла бы описать Вселенную во всех ее проявлениях. Напротив, как уже упоминалось в главе 1, похоже, существует совокупность теорий, объединенных в так называемую М-теорию. Каждая теория этой системы пригодна для описания явлений в определенных границах. Там, где их границы перекрываются, разные теории этой системы согласуются друг с другом, так что о всех них можно сказать, что это части одной и той же теории. Но ни одна из теорий этой системы не может описать Вселенную во всех ее аспектах — все фундаментальные взаимодействия (силы) в природе, частицы, на которые воздействуют эти силы, и пространственно-временны́е рамки, в которых все это теряет смысл. Хотя такая ситуация не исполняет мечту традиционных физиков о единой объединенной теории, она приемлема в рамках моделезависимого реализма.

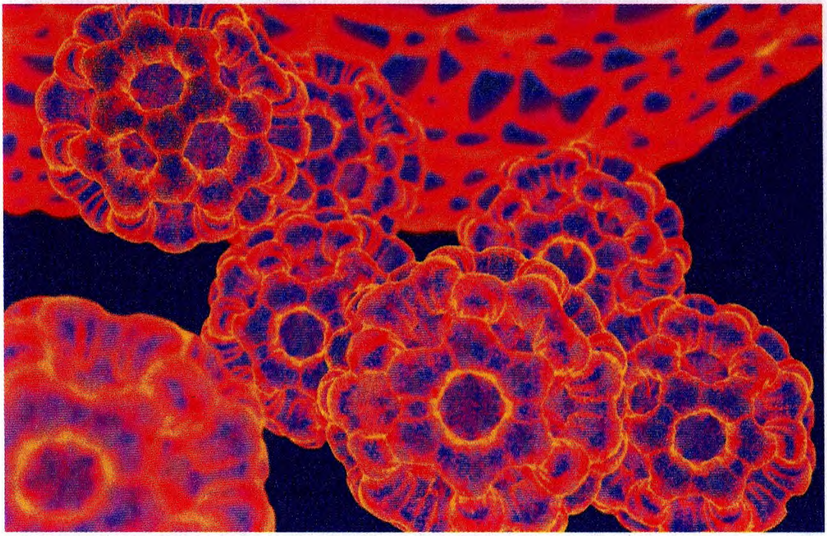
Мы еще обсудим двойственность и М-теорию в главе 5, но прежде вернемся к фундаментальному принципу, на котором базируется современный взгляд на природу квантовой теории, и, в частности, к тому подходу к квантовой теории, который называется «альтернативные истории». С этой точки зрения Вселенная имеет не единственное существование, или историю, а все возможные версии Вселенной существуют одновременно в так называемом квантовом наложении, квантовой суперпозиции. Это может показаться столь же странным, как пример со столом, который исчезает, когда мы выходим из комнаты, но в отношении этого случая следует сказать, что квантовая теория выдержала все экспериментальные проверки, которым когда-либо подвергалась.



4

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОРИИ

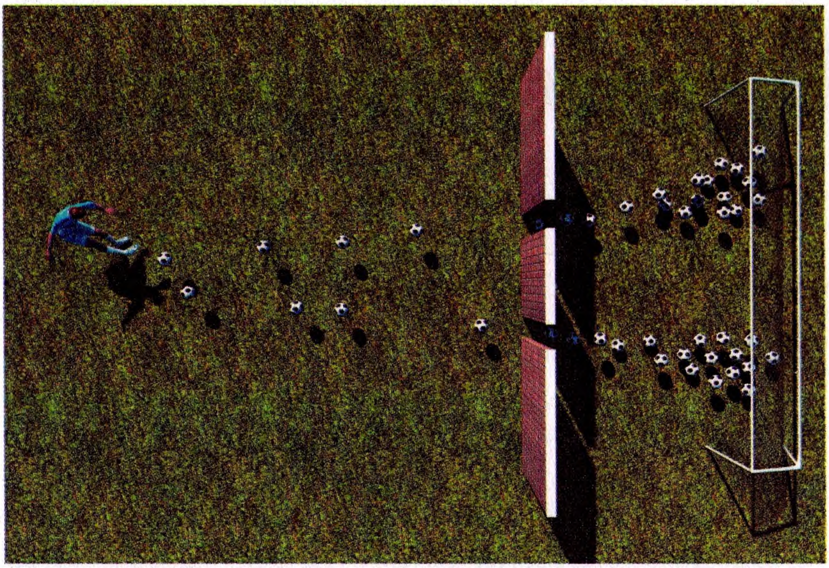
В 1999 ГОДУ ГРУППА АВСТРИЙСКИХ ФИЗИКОВ провела эксперимент по обстрелу некой преграды серией молекул, структура которых напоминает рисунок на поверхности футбольного мяча. Эти молекулы, из шестидесяти атомов углерода каждая, иногда называют бакиболами или фуллеренами — в честь американского архитек-



Бакиболы. Бакиболы похожи на микроскопические футбольные мячи, состоящие из атомов углерода.

тора Бакминстера Фуллера (1895–1983), который строил здания подобной конструкции. Так называемые геодезические купола Фуллера представляют собой, пожалуй, крупнейшие объекты со структурой футбольного мяча. Бакиболы же — наименьшие из таких объектов. В преграде, на которую ученые их направили, имелось две щели, сквозь которые бакиболы могли пролететь. Позади преграды физики расположили своего рода экран для обнаружения и подсчета проскочивших молекул.

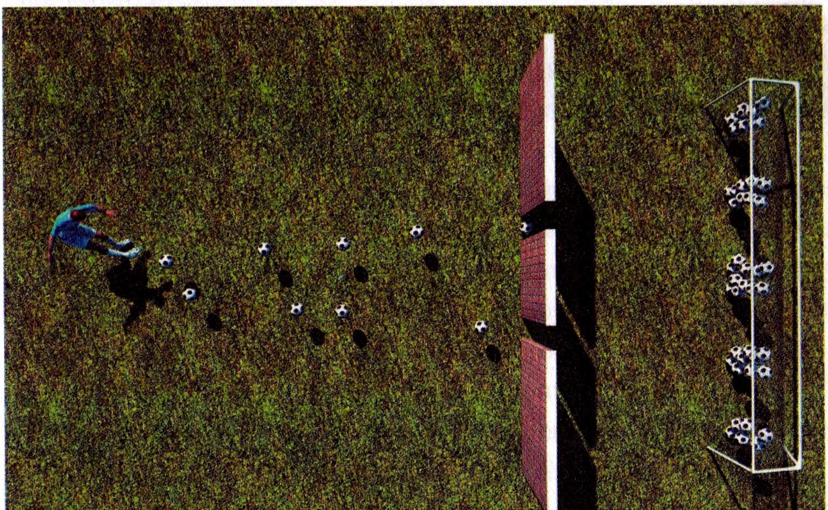
Если мы поставим аналогичный эксперимент с настоящими футбольными мячами, нам понадобится игрок — не особенно меткий, но способный весьма продолжительное время бить по возникающим перед ним мячам с заданной нами скоростью. Мы расположим этого игрока перед преградой — стенкой, в которой имеется два вертикальных проема. Позади стенки (парал-



Футбол через стенку-преграду с двумя проемами. Когда футболист посылает мячи через проемы в стенке, мы можем наблюдать обычную картину.

лельно ей) натянем очень длинную сетку. Большинство посланных игроком мячей попадет в преграду и отскочит обратно, но некоторые пролетят сквозь тот или другой проем и попадут в сетку. Если проемы будут лишь чуточку больше мяча, то по другую сторону стенки-преграды возникнут два строго параллельных потока. Если же проемы немного расширить, каждый из потоков будет слегка расходиться (см. ил., с. 72).

Если мы закроем один из проемов, то соответствующий ему поток мячей не сможет пролетать через преграду, однако это никак не повлияет на другой поток. Если мы снова откроем тот проем, который был закрыт, это лишь увеличит число мячей, приземлившихся в любой избранной точке по другую сторону стенки, поскольку это будут все мячи, прошедшие через остававшийся открытым проем, плюс другие мячи, прошедшие через



Бакибольный футбол через двухщелевую преграду. Когда молекулы-«мячи» пролетают сквозь щели, на экране появляется узор, соответствующий какому-то квантовому закону.

вновь открытый проем. Иными словами, если одновременно открыть два проема, мы увидим сумму тех мячей, которая появилась бы за преградой в том случае, когда мы открывали бы поочередно каждый из проемов. Такова реальность, к которой мы привыкли в повседневной жизни. Совсем иную картину увидели австрийские исследователи, когда вели обстрел своими молекулами.

В австрийском эксперименте открытие второго проема действительно увеличивало число молекул, попадавших на определенный участок экрана, но при этом уменьшало их число на другом участке (см. ил., с. 73). Фактически были точки, куда бакиболы вообще не попадали, когда были открыты обе щели, но они попадали туда, если открытой оставалась лишь одна из щелей. Это должно выглядеть весьма странным. Как может открытие второй щели уменьшить число молекул, попадающих в определенную точку?

Чтобы получить ключ к ответу, изучим всё детально. В этом эксперименте многие из молекулярных «мячей» попали в пятно, центр которого располагался на полпути между теми местами, куда можно было ожидать попадания мячей, пролетевших через ту и другую щели. В места, расположенные чуть дальше от этой центральной точки, попадало очень мало молекул, но еще чуть дальше снова наблюдалось скопление молекул, прошедших через щель. Этот узор не является суммой узоров, полученных, когда каждая щель открывалась отдельно, но он напоминает картину, характерную для интерферирующих волн, показанную на иллюстрации в главе 3. Участки, куда молекулы не попадали, соответствуют областям, в которые волны, исходящие из двух щелей, приходили в противофазе и создавали деструктивную интерференцию; участки же, куда попадало много молекул, соответствовали областям, которых волны достигали в одинаковой фазе и создавали конструктивную интерференцию.

В течение первых двух тысяч лет развития научной мысли основой для теоретических объяснений служили повседневный опыт и интуиция. По мере того как мы развивали технические устройства и расширяли с их помощью диапазон явлений, доступных нашим наблюдениям, мы стали замечать, что поведение природы все меньше и меньше соответствует нашему повседневному опыту и нашей интуиции, о чем, например, свидетельствует эксперимент с бакиболами. Этот эксперимент типичен для явлений, которые не может объяснить классическая наука, но которые описываются квантовой физикой. Ричард Фейнман считал, что эксперимент с использованием преграды с двумя щелями, подобный описанному выше, «заключает в себе всю тайну квантовой механики».

Принципы квантовой физики были разработаны в первые десятилетия XX века, после того как теорию Ньютона сочли недостаточной для описания природы на атомном и субатомном уровнях. Фундаментальные физические теории описывают силы природы и то, как объекты реагируют на них. Классические теории, такие как теория Ньютона, построены на основе повседневного опыта, где материальные объекты существуют индивидуально, могут располагаться в определенных местах, следуют строго определенным траекториям и т. д. Квантовая физика дает основу для понимания того, как природа действует на атомном и субатомном уровнях, но, как мы расскажем более подробно в дальнейшем, она диктует совершенно иную концептуальную схему — такую, в которой положение объекта, его путь и даже его прошлое и будущее точно не определены. Квантовые теории таких сил, как гравитационная или электромагнитная, построены именно на этой основе.

Могут ли теории, построенные на основе, столь чуждой повседневному опыту, объяснить присущие ему явления, которые столь точно были смоделированы классической физикой?

Оказывается, могут, поскольку и мы, и всё, что нас окружает, это составные объекты, то есть структуры, состоящие из невообразимо большого количества атомов, — этих атомов больше, чем звезд в обозримой части Вселенной. И хотя все эти атомы подчиняются принципам квантовой физики, можно продемонстрировать, что их крупные совокупности, слагающие футбольные мячи, морковки, аэробусы и нас самих, конечно же сумеют избежать дифракции при прохождении через проемы. Поэтому, хотя компоненты обычных объектов и подчиняются квантовой физике, законы Ньютона представляют собой эффективную теорию, которая с высокой точностью описывает поведение сложных структур, образующих наш повседневный мир.

Это может показаться странным, но в науке есть много случаев, когда поведение крупного образования выглядит отличающимся от поведения его индивидуальных компонентов. Реакции одного нейрона едва ли такие же, как у человеческого мозга в целом, а знание свойств молекулы воды вряд ли много расскажет вам о поведении озера. В случае квантовой физики ученые и по сей день работают над тем, чтобы подробно выяснить, как законы Ньютона проистекают из квантовой области. Нам известно лишь, что составляющие элементы всех объектов подчиняются законам квантовой физики, а законы Ньютона представляют собой хорошее приближение для того, чтобы описать, как ведут себя макроскопические объекты, состоящие из таких квантовых компонентов.

Именно поэтому прогнозы теории Ньютона совпадают с нашим ви́дением реальности, которое мы все развиваем по мере знакомства с окружающим миром. Но образ действия отдельных атомов и молекул кардинально отличается от того, с которым мы сталкиваемся в повседневной жизни. Квантовая физика представляет собой новую модель реальности, дающую нам иную картину Вселенной. Это картина, в которой многие понятия, осново-

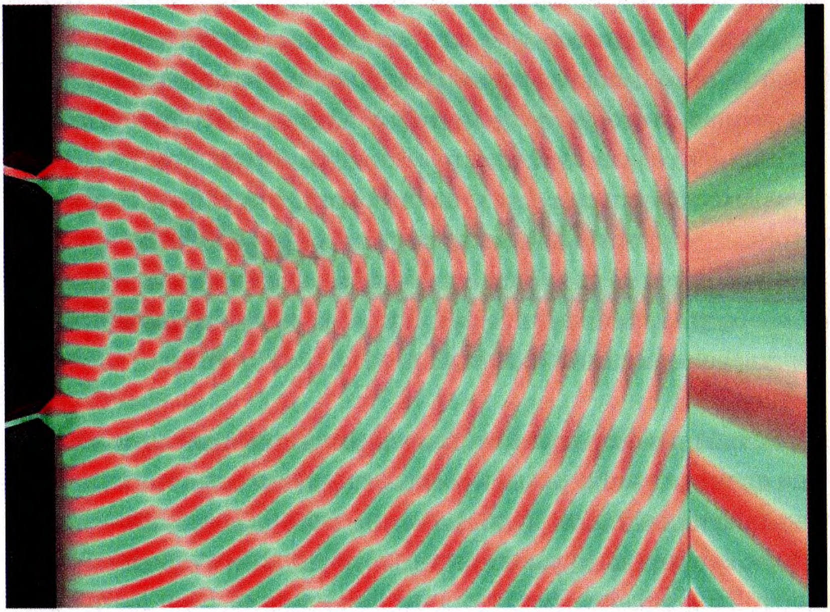
полагающие для нашего интуитивного понимания реальности, больше не имеют значения.

Впервые эксперимент с двухщелевой преградой провели в 1927 году американские физики-экспериментаторы Клинтон Дэвиссон (1881–1958) и Лестер Джермер (1896–1971) из компании «Белл Лабз». Они изучали, как пучок электронов — объектов, которые гораздо проще, чем бакиболы, — взаимодействует с кристаллом никеля. То, что материальные частицы, электроны, ведут себя подобно волнам на воде, оказалось поразительным экспериментом, который вдохновил квантовую физику. Поскольку на макроскопическом уровне такое поведение не наблюдалось, ученые долго не могли понять, насколько большим и сложным должно быть нечто, чтобы оно все еще продолжало проявлять подобные волновые свойства. Если бы эффект удалось продемонстрировать, используя людей или гиппопотамов, это вызвало бы настоящую сенсацию, но, как мы уже сказали, чем больше объект, тем, как правило, менее очевидными и менее устойчивыми становятся квантовые эффекты. Поэтому вряд ли какое-нибудь животное в зоопарке сможет пройти, подобно волне, сквозь железные прутья клетки. И все же физики-экспериментаторы стали наблюдать волновые свойства у все более крупных «частиц». Ученые надеются когда-нибудь повторить эксперимент с бакиболами, используя вирус, который не только гораздо больше по размерам, но и рассматривается некоторыми как живое существо.

Есть всего несколько аспектов квантовой физики, необходимых для того, чтобы понять рассуждения, которые мы приведем в последующих главах. Одна из основных особенностей — двойственная природа (дуализм) волны-частицы. То, что материальная частица ведет себя подобно волне, удивило всех. То, что свет ведет себя как волна, уже не удивляет никого. Волноподобное поведение света кажется нам естественным и считается обще-

принятым фактом на протяжении уже почти двух веков. Если в упомянутом выше эксперименте направить луч света на две щели, то появятся две волны, которые и встретятся на экране. В каких-то точках их гребни или впадины совпадут, образовав яркое пятно, а в других местах гребни одной волны наложатся на впадины другой, поглотив их и образовав темный участок. В начале XIX века английский физик Томас Юнг (1773–1829) провел этот эксперимент (известный теперь как опыт Юнга) и убедил всех, что свет — это волна и он не состоит из частиц, как считал Ньютон.

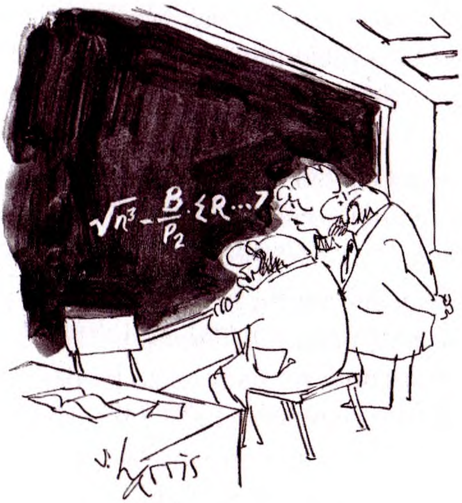
Хотя некоторые могли сделать вывод, что Ньютон был не прав, говоря, что свет — это не волна, но все же он был прав, говоря, что свет может действовать так, как если бы он состоял



Опыт Юнга. Узор, возникающий в эксперименте с бакиболами, был известен из волновой теории света.

из частиц. Сегодня мы называем эти частицы фотонами. Как мы состоим из большого числа атомов, так и свет, который мы видим в повседневной жизни, состоит из великого множества фотонов, — даже одноваттный ночник излучает миллиард миллиардов фотонов в секунду. Одиночные фотоны обычно незаметны, но в лаборатории можно создать весьма слабый луч света, состоящий из потока одиночных фотонов, которые мы сможем обнаруживать индивидуально, точно так же, как мы обнаруживаем одиночные электроны или бакиболы. И мы можем повторить опыт Юнга, используя настолько разреженный луч, что фотоны будут достигать преграды поодиночке, с интервалом в несколько секунд. Если мы сделаем это, а потом сложим все отдельные попадания, зафиксированные на расположенном за преградой экране, то обнаружим, что вместе они создают точно такой же интерференционный узор, какой возник бы в том случае, если бы мы провели опыт Дэвиссона — Джермера, но обстреливали бы экран электронами (или бакиболами) поштучно. Для физиков это было потрясающим открытием: если отдельные частицы интерферируют сами с собой, то волновая природа света является свойством не только луча, или большого скопления фотонов, но и отдельной частицы.

Еще одним из основных принципов квантовой физики является принцип неопределенности, который в 1926 году сформулировал немецкий физик Вернер Гейзенберг (1901–1976). Принцип неопределенности говорит о том, что существуют пределы наших возможностей одновременного измерения определенных величин, таких как положение и скорость частицы. Например, согласно принципу неопределенности, если вы умножаете неопределенность положения частицы на неопределенность ее импульса (произведения массы на скорость), то результат не может быть меньше некой фиксированной величины, которую называют постоянной Планка. Это звучит



«Если это действительно так, то все, что мы принимали за волну, на самом деле было частицей, а все, что мы принимали за частицу, было волной».

как сложная скороговорка, но суть ее может быть выражена просто: чем точнее вы измеряете скорость, тем менее точно можете измерить положение, и наоборот. Например, если вы вдвое уменьшаете неопределенность положения, то вам придется вдвое увеличить неопределенность скорости. Также важно отметить, что по сравнению с обычными единицами измерения, такими как метры, килограммы и секунды, постоянная Планка очень мала. Действительно, если выразить ее в этих единицах, то значение составит примерно 6/10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. В результате, если вы засечете местоположение макроскопического объекта, например футбольного мяча массой в треть килограмма, с точностью до одного миллиметра в каждом направлении, мы все еще сможем измерить его скорость с точностью гораздо большей, чем одна милли-

ардная миллиардной от одной миллиардной километра в час. Это потому, что измеренная в таких единицах масса футбольного мяча равна 1/3, а неопределенность положения 1/1000. Ни того ни другого не достаточно, чтобы привести ко множеству нулей в постоянной Планка, так что эта роль достается неопределенности в скорости. Но в тех же единицах масса электрона составляет 0,000 000 000 000 000 000 000 000 001, поэтому с электронами дело обстоит совершенно по-другому. Если мы измеряем положение электрона с точностью, примерно соответствующей размеру атома, то принцип неопределенности устанавливает, что мы не можем узнать скорость электрона более точно, чем примерно плюс-минус 1000 километров в секунду, что уж никак не назовешь очень точным.

Согласно квантовой физике, независимо от того, сколько информации мы получаем или сколь велики наши вычислительные способности, результаты физических процессов не могут быть предсказаны однозначно, потому что они не имеют однозначной *определенности*. Наоборот, учитывая данное начальное состояние системы, Природа определяет свое будущее состояние посредством процесса, который существенно неоднозначен. Иными словами, Природа не диктует результат какого-либо процесса или эксперимента даже в простейших ситуациях. Скорее, она предоставляет много различных возможностей, каждая из которых может реализоваться с той или иной степенью вероятности. Это, перефразируя Эйнштейна, как если бы Бог бросал игральные кости, прежде чем решить, каким будет результат каждого физического процесса. Такая идея беспокоила Эйнштейна, и даже будучи одним из отцов квантовой физики, он впоследствии начал критиковать этот взгляд.

Может показаться, будто квантовая физика подрывает саму идею о том, что Природа управляется законами, но дело обстоит не так. Просто это ведет нас к принятию новой формы детерми-

низма: данное состояние системы в некоторый момент времени и законы природы определяют *вероятности* различных вариантов будущего и прошлого, но не определяют будущее и прошлое строго однозначно. Ученые, несмотря на то что кому-то это не по вкусу, должны придерживаться тех теорий, которые согласуются с экспериментом, а не с их собственными предвзятыми понятиями.

Возможность проверки — вот что должна требовать наука от теории. Если бы вероятностная природа предсказаний в квантовой физике означала, что подтвердить предсказания невозможно, то квантовые теории не считались бы правомерными. Но несмотря на вероятностную природу их предсказаний, мы все же можем выполнять проверку квантовых теорий. Например, мы можем повторить эксперимент много раз и подтвердить, что частота разных результатов совпадает с предсказанной вероятностью. Вернемся к опыту с бакиболами. Квантовая физика говорит нам, что никакой объект никогда не располагается в определенной точке, потому что, будь это так, неуверенность в импульсе равнялась бы бесконечности. Фактически, согласно квантовой физике, каждая частица имеет некоторую вероятность быть обнаруженной где угодно во Вселенной. Так что даже если шанс обнаружить данный электрон внутри двухщелевого устройства весьма высок, всегда будет сохраняться шанс, что этот электрон может оказаться на обратной стороне звезды альфа Центавра или внутри запеканки, приготовленной в столовой у вас на работе. В результате, если вы ударите по квантовому бакиболу, отправив его в полет, никакая ловкость и никакие знания не помогут вам заранее сказать, где точно он приземлится. Но если вы повторите этот эксперимент многократно, то полученные вами данные покажут вероятность нахождения «мяча» в разных местах и можно будет утверждать, что результаты проведенных опытов согласуются с предсказаниями теории.

Важно осознавать, что вероятности в квантовой физике не похожи на вероятности в Ньютоновой физике или в повседневной жизни. Мы можем понять это, сравнив узоры, созданные непрерывным потоком бакиболов, летящих к экрану, с узором из ямок, оставленных на мишени для игры в дартс дротиками, которыми игроки целились в «яблочко». Если игроки не перебрали пива, то шансы каждого дротика попасть в центр наибольшие, но они уменьшаются, если игрок отдаляется от мишени. Как и в случае с бакиболами, каждый дротик может попасть куда угодно, и через некоторое время на мишени появится узор из ямок, отображающий эту вероятность. В повседневной жизни про данную ситуацию мы могли бы сказать, что дротик имеет определенную вероятность попасть в разные точки; но если мы скажем так, то, в отличие от случая с бакиболами, лишь потому, что не полностью знаем условия в момент броска. Наше описание можно улучшить, если иметь точные сведения об особенностях того, как игрок бросает дротик: под каким углом, с каким вращением, скоростью и т. д. В принципе тогда мы могли бы с любой необходимой для нас точностью предсказать, куда попадет дротик. Поэтому использование нами вероятностных терминов для описания результатов событий, наблюдаемых в повседневной жизни, отражает не внутреннюю природу процесса, а только недостаток наших знаний о некоторых его аспектах.

В квантовой физике вероятности не таковы. В квантовой физике они отражают фундаментальную неупорядоченность природы. Квантовая модель природы содержит в себе принципы, противоречащие не только нашему повседневному опыту, но и нашему интуитивному пониманию реальности. Те, кто считает данные принципы фантастическими и для кого в них трудно поверить, попали в хорошую компанию, оказавшись вместе с такими великими физиками, как Эйнштейн и даже Фейнман, чье описание квантовой теории мы представим далее. Действительно, Фейнман однажды написал: «Думаю, я могу с уверенностью сказать, что

квантовую механику не понимает никто». Но квантовая физика согласуется с наблюдениями. Она всегда выдерживала проверки, а проверяли ее больше, чем любую другую научную теорию.

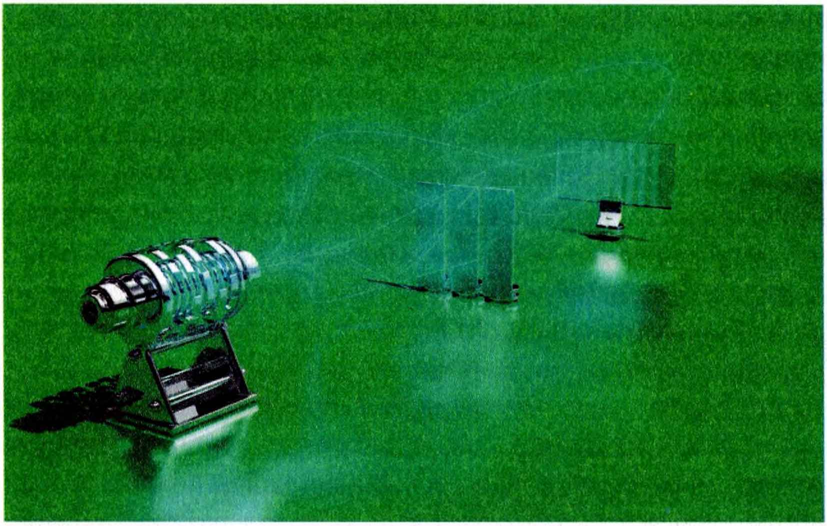
В 1940-х годах американского физика Ричарда Фейнмана осенила потрясающая догадка относительно разницы между квантовым и Ньютоновым мирами. Фейнман заинтересовался, как появляется интерференционный узор в эксперименте с двухщелевой преградой. Напомним, что узор, который образуется, когда мы стреляем молекулами при обеих открытых щелях, не является суммой узоров, возникающей, если эксперимент провести дважды: открыв первый раз одну из щелей, а второй раз другую. Вместо этого при обеих открытых щелях мы обнаруживаем чередование светлых и темных полос. Темные полосы — это области, куда частицы вообще не попадают. Значит, частицы, которые попали бы в это место, если открыта, скажем, только левая щель, не попадают туда, если открыты обе щели. Похоже, будто в неком месте на пути от источника к экрану частицы получают информацию об обеих щелях. Такое поведение частиц резко отличается от поведения предметов в повседневной жизни, когда мяч пролетел бы через одну из щелей независимо от того, открыта вторая или нет.

Согласно Ньютоновой физике (и согласно тому, как выглядел бы эксперимент, выполненный с футбольными мячами, а не с молекулами), каждая частица следует от источника к экрану по единственному, строго определенному маршруту. Эта картина лишена «объезда», при котором частица на пути к цели могла бы посетить окрестности каждой из щелей. Согласно же квантовой модели, частица считается не имеющей определенного положения в течение времени, пока она находится между начальной и конечной точками. Фейнман понял, что не нужно интерпретировать это так, будто частицы *не* имеют маршрута при своем перемещении от источника до экрана. Напротив, это может означать, что частицы следуют по *всем* возможным траекториям, соединяющим эти точки. Вот это, заявил Фейнман, и отличает

квантовую физику от Ньютоновой. Состояние обеих щелей имеет значение, потому что частицы летят не по единственной определенной траектории, а по всем возможным траекториям и делают это *одновременно*! Звучит как научная фантастика, но это вовсе не фантастика. Фейнман сформулировал математическое выражение (фейнмановскую сумму по историям), отражающее эту идею и воспроизводящее все законы квантовой физики. В теории Фейнмана математическая и физическая картины отличаются от первоначальной формулировки квантовой физики, но предсказания остаются теми же.

Применительно к двухщелевому эксперименту идеи Фейнмана означают, что частицы движутся по траекториям, проходящим только через левую щель или только через правую щель; что частицы, пролетевшие сквозь левую щель, возвращаются через правую, а потом снова пролетают через левую; что по пути домой они посещают ресторан, где подают замечательные креветки с карри, а потом делают несколько оборотов вокруг Юпитера; что траектории частиц могут даже пролегать туда и обратно через всю Вселенную. По мнению Фейнмана, это объясняет, как частица получает информацию о том, которая из двух щелей открыта, — если щель открыта, частица проходит через нее. Когда открыты обе щели, траектории, по которым частица движется сквозь одну щель, могут накладываться на траектории, по которым она движется сквозь другую щель, что и вызывает интерференцию. Это может показаться безумием, но для задач современной фундаментальной физики (как и для задач этой книги) формулировка Фейнмана оказалась более подходящей, чем первоначальная.

Фейнмановский взгляд на квантовую реальность крайне важен для понимания теорий, которые мы представим далее, поэтому стоит потратить немного времени, чтобы ощутить, как все это работает. Представьте себе простой процесс, в котором частица начинает свой путь в какой-то точке *A* и свободно движется. В Ньютоновой модели эта частица будет двигаться по прямой.

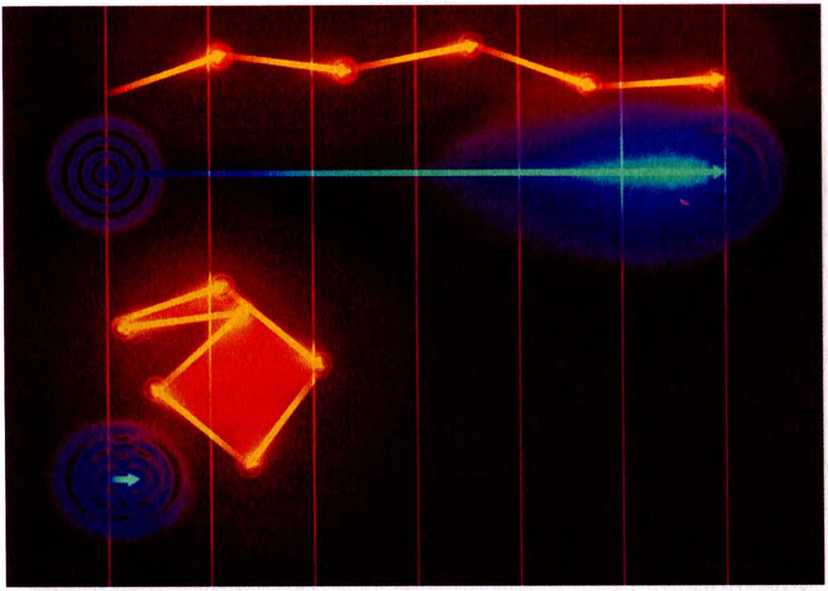


Траектории частицы. Фейнмановская формулировка квантовой теории дает картину, объясняющую, почему частицы — такие как бакиболы и электроны, — проходя через двухщелевую преграду, образуют на экране интерференционный узор.

Через некоторое точно определенное время мы обнаружим частицу именно в некоторой точке *B*, расположенной на этой линии. В фейнмановской модели квантовая частица «пробует» каждую траекторию, соединяющую точки *A* и *B*, собирая для каждой траектории чи́сла, называемые фазой. Фаза отображает местоположение в цикле волны, то есть находится ли волна в положении гребня или впадины либо в каком-то промежуточном состоянии между ними. Математическое выражение, предложенное Фейнманом для расчета этой фазы, показало: если сложить вместе волны по всем траекториям, получится правильная вероятность того, что частица, начав свой путь в точке *A*, достигнет точки *B*.

Фазу, которую каждая отдельная траектория вносит в фейнмановскую сумму (а следовательно, в вероятность движения из точки *A* в точку *B*), можно изобразить в виде стрелки, имеющей

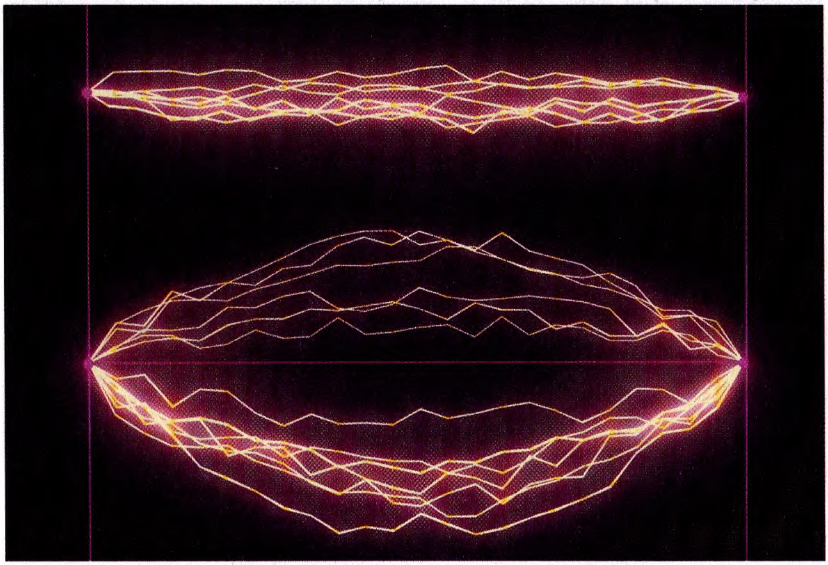
фиксированную длину, а указывать стрелка может в любом направлении. Чтобы сложить две фазы, вы приставляете стрелку, соответствующую одной фазе, к концу стрелки, соответствующей другой фазе, и получаете новую стрелку, представляющую собой сумму. Чтобы прибавить дополнительные фазы, нужно просто продолжить этот процесс. Заметьте: когда фазы совпадают по направлению, суммарная стрелка может оказаться довольно длинной. Если они указывают в разные стороны, то имеют тенденцию при сложении гасить друг друга, и от стрелки может не остаться почти ничего. Эта идея проиллюстрирована ниже.



Сложение фейнмановских траекторий. Эффекты из-за различных фейнмановских траекторий могут усиливать или ослаблять друг друга точно так же, как это делают волны. Желтые стрелки — складываемые фазы. Голубые — сумма траекторий (от хвоста первой стрелки до острия последней). Ниже стрелки направлены по-разному, поэтому сумма траекторий очень короткая.

Чтобы выполнить требование Фейнмана для расчета вероятности, с которой частица, вылетевшая из точки *A*, прилетит в точку *B*, нужно сложить все фазы, или стрелки, относящиеся к каждой траектории, соединяющей точки *A* и *B*. Таких траекторий бесконечное множество, что несколько усложняет математические вычисления, тем не менее результат достижим. Некоторые из путей показаны на рисунке ниже.

Теория Фейнмана дает особенно ясное понимание того, каким образом Ньютонова картина мира проистекает из квантовой физики, которая кажется весьма отличающейся от нее. Согласно теории Фейнмана, фазы, связанные с каждой траекторией, зависят от постоянной Планка. Поскольку постоянная Планка очень мала, то, когда вы суммируете вклады от близких друг к другу



Траектории от точки *A* до точки *B*. «Классическая» траектория между двумя точками — прямая линия. Фазы траекторий, близких к классической, имеют тенденцию усиливать друг друга, тогда как для фаз удаленных траекторий характерно взаимное ослабление.

траекторий, фазы обычно очень сильно различаются, и поэтому их сумма стремится к нулю (см. ил., с. 88). Но теория также показывает, что существуют определенные траектории, для которых фазы имеют тенденцию выстраиваться в линию, и потому эти траектории предпочтительны, то есть они дают больший вклад в наблюдаемое поведение частицы. Получается, что для больших объектов траектории, очень близкие к траекториям, предсказанным теорией Ньютона, имеют схожие фазы и суммируются друг с другом, давая гораздо больший вклад в итоговую величину. Поэтому единственным назначением, имеющим вероятность гораздо больше нуля, является направление, предсказываемое теорией Ньютона, а это направление имеет вероятность, очень близкую к единице. Следовательно, большие объекты движутся именно так, как им предписывает теория Ньютона.

До сих пор мы обсуждали идеи Фейнмана в контексте эксперимента с двухщелевой преградой. В том эксперименте частицами обстреливалась преграда в виде стенки со щелями, а на расположенном за преградой экране мы могли определять, в какие места они попадают. Говоря в целом, теория Фейнмана позволяет нам предсказать вероятное поведение не только одной частицы, но и системы, которая может состоять из частицы, множества частиц или даже из целой Вселенной. За время, прошедшее от начального состояния системы до некого более позднего момента, когда мы проводим определения свойств данной системы, происходит какое-то изменение этих свойств, называемое физиками историей системы. Например, в эксперименте с двухщелевой преградой историей частицы является просто ее траектория. В таком эксперименте шанс наблюдать попадание частицы в какую-либо точку зависит от всех путей, которые могут привести туда частицу. Фейнман показал, что точно так же и для любой системы вероятность какого-либо

наблюдения составляется из всех возможных историй, которые могли бы привести к данному наблюдению. Поэтому его метод называется в квантовой физике «сумма по историям» или «альтернативные истории».

Теперь, когда мы разобрались с фейнмановским подходом к квантовой физике, наступило время рассмотреть еще один ключевой квантовый принцип, который нам понадобится позже, а именно: наблюдение за системой должно изменять ее ход. Разве нельзя (как мы это делаем, увидев каплю горчицы на подбородке у начальницы) просто наблюдать, но не вмешиваться? Нельзя! Согласно квантовой физике, вы не можете «просто» наблюдать что-либо. То есть квантовая физика считает, что, наблюдая, вы должны взаимодействовать с наблюдаемым объектом. Например, чтобы рассмотреть объект в обычном смысле, мы направляем на него свет. Если свет упадет на тыкву, он, конечно же, окажет на нее слабое влияние. Но попадание даже тусклого света на крошечную квантовую частицу — то есть попадание в нее фотонов — имеет значительный эффект, и эксперименты показывают, что это влияет на результаты опыта именно так, как описывает квантовая физика.

Предположим, что, как и раньше, мы посылаем поток частиц через двухщелевую преграду и собираем данные о первом миллионе частиц, прошедших сквозь щели. Когда мы графически изобразим множество частиц, попавших в разные точки экрана, то получим интерференционный узор (см. ил., с. 73), а когда мы сложим фазы, соответствующие всем возможным путям от точки *A* — места старта частицы — до точки *B* — места ее регистрации на экране, — то обнаружим, что рассчитанная вероятность попадания в разные точки совпадает с этими данными.

Теперь предположим, что мы повторяем эксперимент, на этот раз направляя свет на щели так, чтобы мы знали промежу-

точный пункт — точку *C*, — через который прошла частица. (Точка *C* — это положение либо одной, либо другой щели.) Это называется «информация „который путь“», потому что она говорит нам о том, каким путем каждая частица перемещается из точки *A* в точку *B* — через щель 1 или через щель 2. Поскольку мы знаем, через какую щель прошла каждая частица, то в нашей сумме траектории для этой частицы будут теперь включать только те пути, которые проходят через щель 1, или только те, что проходят через щель 2. Сумма не будет учитывать траектории, проходящие через обе щели. Поскольку Фейнман объяснил интерференционную картину тем, что траектории, проходящие через одну щель, накладываются на траектории, проходящие через другую, то если вы включите свет, чтобы определить, через какую щель проходят частицы, тем самым лишая их другой возможности, вы получите исчезновение интерференционной картины. И действительно, когда проводился эксперимент, включение света изменяло результаты: вместо интерференционного узора, представленного на с. 73, возникала картина, приведенная на с. 72! Более того, мы можем изменять условия эксперимента, используя свет настолько слабый, что не все частицы взаимодействуют с ним. В этом случае мы можем получить информацию «который путь» только для некоторой группы частиц. Если мы затем разделим данные по частицам в соответствии с тем, получена или нет для них информация «который путь», то обнаружим, что данные, относящиеся к группе, для которой нет такой информации, создадут интерференционный узор, а данные, относящиеся к частицам другой группы — для которых есть информация «который путь», — интерференционной картины не дадут.

Это имеет важные последствия для нашего понимания «прошлого». В теории Ньютона прошлое принималось существующим как определенная последовательность событий. Если вы

видите, что ваза, купленная вами в прошлом году в Италии, лежит разбитая на полу, а ваш малыш стоит над ней с растерянным видом, вы можете восстановить события, приведшие к этому случаю: маленькие пальчики не удержали вазу, она упала и, ударившись об пол, разлетелась на тысячу осколков. Действительно, имея полную информацию о настоящем, законы Ньютона позволяют воссоздать полную картину прошлого. Это согласуется с нашим интуитивным пониманием того, что у мира — плохо это или хорошо — имеется определяемое прошлое. Возможно, не было никого, кто наблюдал бы нечто в прошлом, тем не менее существование прошлого столь же несомненно, как если бы оно было запечатлено вами на серии фотоснимков. Но о квантовом бакиболе нельзя сказать, что он прошел вполне определенный путь от источника до экрана. Мы могли бы зафиксировать местоположение бакибола, наблюдая его, но в промежутке между нашими наблюдениями он проходит по всем возможным траекториям. Квантовая физика говорит нам, что, независимо от того, насколько полно наше наблюдение за настоящим, ненаблюдаемое прошлое, как и будущее, выглядит неопределенно и существует только как спектр возможностей. Согласно квантовой физике, Вселенная не имеет единственного прошлого, или единственной истории.

То, что прошлое не имеет определенности, означает, что наши наблюдения за системой, выполняемые в настоящем, влияют на ее прошлое. Это довольно эффектно демонстрирует эксперимент, который предложил американский физик Джон Уилер (1911–2008), — так называемый эксперимент с отложенным выбором. В общих чертах этот эксперимент напоминает только что рассмотренный нами эксперимент с двухщелевой преградой, в котором вы можете наблюдать траекторию движения частицы, за исключением того, что в эксперименте с отложенным выбором вы откладываете свое решение о том, проводить наблюдение

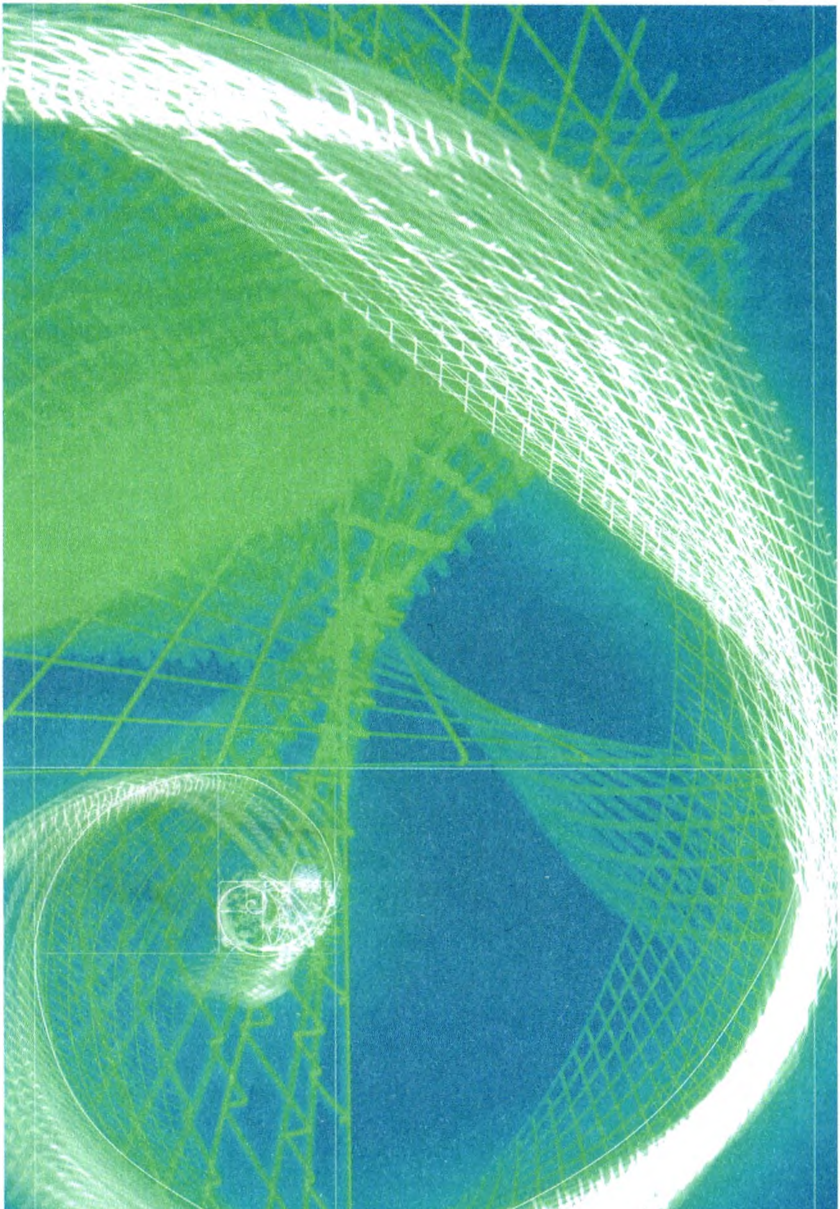
за траекторией или нет, до самого последнего мгновения, предшествующего столкновению частицы с экраном.

Эксперимент с отложенным выбором приводит к данным, идентичным тем, что получаются в случае, когда мы решаем наблюдать (или не наблюдать) для получения информации «который путь», следя за самими щелями. Но при отложенном выборе траектория каждой частицы, то есть ее прошлое, определяется намного позже того, как частица пройдет сквозь щели и предположительно уже «решила», проходить ли ей только через одну щель — что не приведет к интерференции — или через обе — что создаст интерференцию.

Уилер даже рассмотрел космическую версию этого эксперимента, в которой частицами являются фотоны, испускаемые мощными квазарами, находящимися на расстоянии в миллиарды световых лет. Такой свет мог бы разделиться на две траектории и снова сфокусироваться в направлении к Земле так называемым гравитационным линзированием с помощью промежуточной галактики. Хотя подобный эксперимент находится за пределами возможностей нынешних технологий, если бы мы смогли собрать достаточно фотонов от такого света, они должны были бы сложиться в интерференционный узор. Однако если мы установим измеряющее устройство для получения информации «который путь» неподалеку от экрана, интерференционная картина не возникнет. Выбор — двигаться по одной или по двум траекториям — в этом случае был бы сделан миллиарды лет назад, еще до того как образовалась Земля, а возможно, даже и само Солнце. И все же наши наблюдения в лаборатории окажут влияние на этот выбор.

В этой главе мы проиллюстрировали использование квантовой физикой эксперимента с двухщелевой преградой. В следующей главе мы рассмотрим фейнмановскую формулировку квантовой механики на примере всей Вселенной. Мы увидим, что,

подобно частице, Вселенная имеет не единственную историю, а все возможные истории, каждую со своей собственной вероятностью, а наши наблюдения ее текущего состояния влияют на ее прошлое и определяют различные истории Вселенной точно так же, как наблюдения за частицами в двухщелевом эксперименте влияют на прошлое частиц. Этот анализ покажет, как в результате Большого взрыва возникли законы природы в нашей Вселенной. Но прежде чем рассматривать, как возникают законы, мы немного поговорим о том, что же такое законы, а также о тех загадках, которые они влекут за собой.



5

ТЕОРИЯ ВСЕГО

Самое непостижимое во Вселенной то,
что она постижима.

Альберт Эйнштейн

ВСЕЛЕННАЯ ПОСТИЖИМА, потому что ею управляют научные законы, то есть ее поведение можно смоделировать. Но каковы эти законы и модели? Первой силой (или фундаментальным взаимодействием в природе), описанной на языке математики, была гравитация. Закон всемирного тяготения Ньютона, опубликованный в 1687 году, гласит, что всякий объект во Вселенной притягивает любой другой объект с силой, пропорциональной его массе. Это произвело огромное впечатление на интеллектуальную среду той эпохи, поскольку впервые показало, что по крайней мере один аспект Вселенной может быть точно смоделирован. Кроме того, данный закон давал математический аппарат, позволяющий сделать это. Мысль, что существуют законы природы, породила проблемы, подобные тем, за которые около пятидесяти лет до этого Галилей был обвинен в ереси. Например, в Библии повествуется о том, как Иисус Навин умолил Бога остановить движение солнца и луны, чтобы продлить светлое время, и тем самым дать ему возможность завершить битву с амореями в Ханаане. Согласно книге Иисуса Навина, солнце остановилось почти на сутки. Сегодня мы знаем, что это означает

остановку вращения Земли. Но если бы Земля остановилась, то, согласно законам Ньютона, все, не закрепленное на ней, продолжило бы движение с прежней скоростью (1100 миль в час на экваторе), — это была бы высокая цена за отложенный закат. Но Ньютона все это не волновало, поскольку, как мы упоминали, он считал, что Бог может вмешиваться и вмешивается в работу Вселенной.

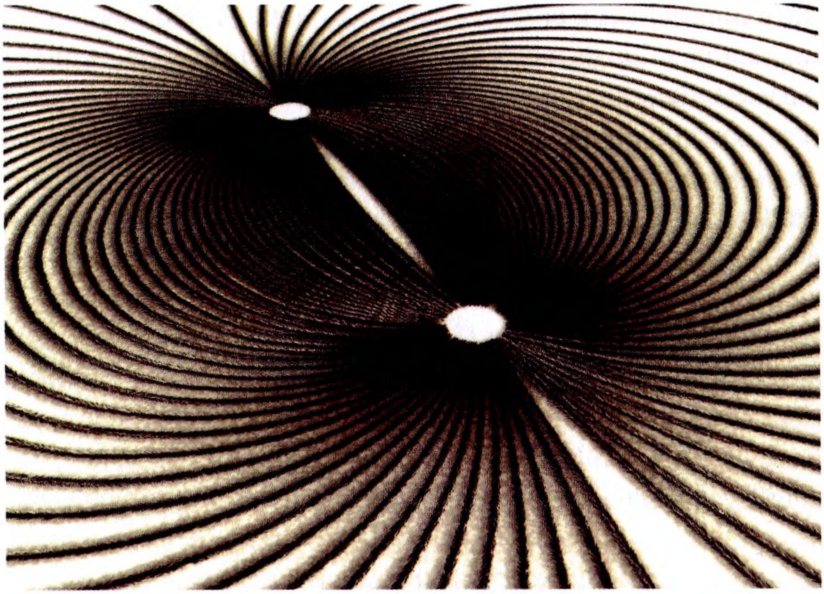
Следующими аспектами Вселенной, для которых был открыт закон, или модель, стали электрические и магнитные силы (фундаментальные взаимодействия). Они ведут себя подобно гравитации, но с тем важным отличием, что два одноименных электрических заряда или два одноименных полюса магнита отталкиваются друг от друга, а разноименные притягиваются. Электрическое и магнитное взаимодействия гораздо сильнее гравитационного, но мы обычно не замечаем их в повседневной жизни, так как макроскопические тела содержат примерно равное число положительных и отрицательных зарядов. Это означает, что электрические и магнитные взаимодействия между двумя макроскопическими телами сами себя уравновешивают, в отличие от гравитационных, которые всегда усиливаются, дополняя друг друга.

На развитие нашего современного понимания электричества и магнетизма ушло примерно сто лет, с середины XVIII до середины XIX века. В этот период физики разных стран проводили тщательные экспериментальные исследования электрических и магнитных сил. Одним из самых важных стало открытие взаимосвязи между электрическими и магнитными силами: движущийся электрический заряд порождает магнитную силу, а движущийся магнит порождает электрические заряды. Первым, кто обнаружил наличие определенной связи, был датский физик Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851). Готовясь к лекции, которую он должен был читать в университете в 1820 году, Эр-

стед заметил, что электрический ток от батареи, которую он использовал, отклоняет стрелку расположенного неподалеку компаса. Вскоре он понял, что движущееся электричество создает магнитную силу, и ввел термин «электромагнетизм». Несколько лет спустя британский ученый Майкл Фарадей (1791–1867) пришел к выводу, что — пользуясь современной терминологией — если электрический ток может порождать магнитное поле, то и магнитное поле должно порождать электрический ток. Он продемонстрировал это в 1831 году. А еще через четырнадцать лет Фарадей открыл связь между электромагнетизмом и светом, показав, что сильное магнитное поле может влиять на природу поляризованного света.

Фарадей не получил хорошего общего образования. Он родился близ Лондона, в семье бедного кузнеца. В возрасте тринадцати лет бросил школу, поскольку вынужден был пойти работать посыльным и переплетчиком в книжной лавке. Там на протяжении нескольких лет он занимался самообразованием, читая переплетаемые им научные труды, а в свободное время проводил дома простые и недорогие опыты. Со временем он получил место ассистента в лаборатории великого английского химика сэра Гемфри Дэви (1778–1829). Фарадей оставался в этой лаборатории в течение всех последующих сорока пяти лет, а после смерти Дэви занял его пост. Не получив достаточного образования по математике, Фарадей испытывал в ней затруднения, что создавало для него сложности в понимании теоретической картины тех странных электромагнитных явлений, которые он наблюдал в своей лаборатории. Тем не менее он во всем разобрался.

Одним из величайших интеллектуальных достижений Фарадея стала идея о силовых полях. В наши дни, благодаря книгам и фильмам о пучеглазых инопланетянах и их звездолетах, большинство людей знакомо с этим термином, так что Фарадею, пожалуй,



Силовые поля. Силовое поле стержневого магнита, прорисованное железными опилками, которые выстроились вдоль силовых линий между полюсами магнита.

причитается авторский гонорар. Но в течение столетий, прошедших от Ньютона до Фарадея, одной из великих загадок физики было то, что законы, казалось, свидетельствовали: силы могут действовать через пустое пространство, разделяющее объекты. Фарадею это не нравилось. Он считал, что для приведения объекта в движение нечто должно войти с ним в контакт, и потому предположил, что пространство между электрическими зарядами, как и между полюсами магнита, заполнено невидимыми силовыми линиями — упругими трубками, изменение натяжения которых способно физически осуществлять притягивание или отталкивание. Совокупность этих трубок Фарадей назвал силовым полем. Хорошим способом для визуализации силового поля служит демонстрационный школьный опыт, при котором пло-

ское стекло кладут на стержневой магнит, а поверх стекла насыпают железные опилки. После нескольких потряхиваний, необходимых, чтобы преодолеть трение, опилки начинают двигаться, как будто их толкает невидимая сила, и выстраиваются в форме дуг, протянувшихся от одного полюса магнита к другому. Этот рисунок дает картину невидимой магнитной силы, пронизывающей пространство. Сегодня мы считаем, что все силы передаются полями. Это важная концепция современной физики, как, впрочем, и научной фантастики.

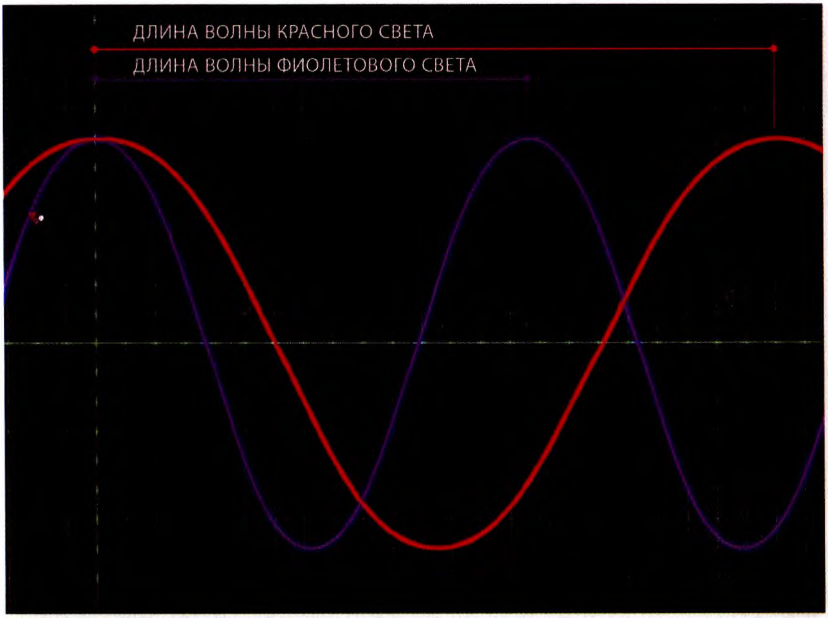
В течение нескольких десятилетий наше понимание электромагнетизма оставалось без развития и ограничивалось знанием нескольких эмпирических законов: мы догадывались, что электричество и магнетизм тесным, хотя и загадочным, образом связаны; понимали, что они имеют какое-то отношение к свету; имелось первичное понятие о силовых полях. Существовало по меньшей мере одиннадцать теорий электромагнетизма, и ни одна из них не оказалась удовлетворительной. Затем, в 1860-х годах, шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) за несколько лет развил взгляды Фарадея в математическую структуру, которая объяснила глубинную и загадочную взаимосвязь между электричеством, магнетизмом и светом. В результате был получен набор уравнений, описывающих электрическую и магнитную силы как проявление одной и той же физической сущности — электромагнитного поля. Максвелл объединил электричество и магнетизм в одну силу. Более того, он доказал, что электромагнитные поля могут распространяться в пространстве в виде волн. Скорость этих волн определяется числом, вытекающим из его уравнений, которые он вывел на основе своих экспериментальных данных, полученных несколькими годами ранее. К удивлению ученого, рассчитанная им скорость совпала со скоростью света, которую тогда знали по экспериментальным опре-

делениям, с точностью в один процент. Так Максвелл открыл, что свет представляет собой электромагнитную волну.

Сегодня уравнения, описывающие электрические и магнитные поля, называют уравнениями Максвелла. Мало кто слышал о них, но из всех известных нам уравнений они, вероятно, являются самыми важными в коммерческом отношении. Они не только управляют работой различных приборов — от простых бытовых устройств до компьютеров, — но еще и описывают другие (не световые) волны, такие как микроволны, радиоволны, инфракрасные и рентгеновские лучи. Все они отличаются от видимого света только одним — длиной волны. У радиоволн длина (расстояние от гребня одной волны до гребня другой) составляет метр и более, тогда как длина волн видимого света — несколько десятимиллионных долей метра, а у рентгеновских лучей — менее одной стомиллионной метра.

Наше Солнце излучает волны всех длин, но его излучение интенсивнее всего на тех длинах волн, которые мы можем видеть. Наверное, не случайно мы способны видеть невооруженным глазом именно те лучи, которые преобладают в солнечном излучении: скорее всего, наши глаза приспособились таким образом, чтобы различать электромагнитное излучение именно в этом диапазоне, потому что он подходит им наилучшим образом. Если мы когда-нибудь встретим существ с других планет, они, может быть, смогут «видеть» излучение на иных длинах волн — на тех, которые их солнце излучает наиболее сильно (конечно, с поправкой на светоэкранирующие свойства пыли и газов в атмосфере их планеты). Поэтому те инопланетяне, которые развивались в условиях рентгеновского излучения, могли бы сделать неплохую карьеру в службе безопасности аэропортов.

Согласно уравнениям Максвелла, электромагнитные волны распространяются со скоростью 300 000 километров в се-

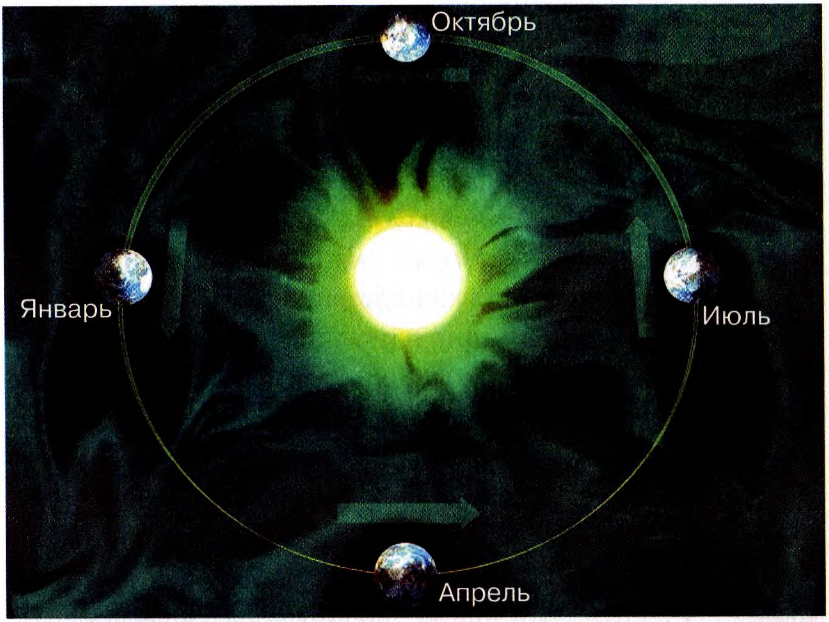


Длина волны. Микроволны, радиоволны, инфракрасное и рентгеновское излучение, а также видимый свет разного цвета отличаются только длиной волны.

кунду, или около 670 миллионов миль в час. Но говорить о скорости бессмысленно, если не указать, относительно чего эта скорость измеряется. В повседневной жизни мы об этом даже не задумываемся. Когда дорожный знак ограничения скорости указывает «60 миль в час», то понятно, что имеется в виду скорость автомобиля относительно дороги, а не черной дыры в центре Млечного Пути. Но даже в повседневной жизни иногда приходится принимать во внимание систему отсчета. Например, если в летящем реактивном самолете вы идете по проходу с чашкой чая, то можете сказать, что ваша скорость 2 мили в час. Однако кто-то, находящийся в это время на земле, может сказать, что вы двигаетесь со скоростью 572 мили в час. Прежде чем

решить, кто из вас ближе к истине, учтите, что, поскольку Земля движется вокруг Солнца, некто, наблюдающий за вами с поверхности этого небесного тела, не согласится с обоими и скажет, что ваша скорость около 18 миль в секунду, да еще и позавидует тому, что у вас есть кондиционер. В свете таких разногласий возникает естественный вопрос: а когда Максвелл утверждал, что обнаружил величину скорости света на основании своих уравнений, то относительно чего в этих уравнениях измерялась скорость света?

Нет оснований полагать, что параметр скорости в уравнениях Максвелла представляет собой скорость, измеренную относительно Земли. В конечном счете его уравнения применимы ко всей Вселенной. Альтернативный ответ, который одно время рассматривался, состоял в том, что в уравнениях Максвелла указывается скорость света относительно еще не выявленной среды, заполняющей все пространство. Такое вещество назвали светоносным эфиром, для краткости — просто эфиром. Этот термин ввел еще Аристотель для обозначения субстанции, которая, по его мнению, заполняет всю Вселенную за пределами земного шара. Этот гипотетический эфир мог бы представлять ту среду, благодаря которой происходит распространение электромагнитных волн, подобно тому как звук распространяется в воздухе. Если бы эфир существовал, то имелся бы Абсолютный стандарт покоя (покоя по отношению к эфиру), а отсюда и Абсолютный способ определения движения. Эфир обеспечил бы предпочтительную систему отсчета во всей Вселенной, и скорость любого объекта можно было бы измерять относительно этой системы. Поэтому на основе теоретических соображений стали считать, что эфир существует, и поручили нескольким ученым найти способ для его изучения или хотя бы подтвердить его существование. Одним из этих ученых был сам Максвелл.



Движение сквозь эфир. Если бы мы двигались сквозь эфир, то должны были бы ощутить это движение, наблюдая сезонные различия скорости света.

Если вы движетесь в воздушной среде навстречу звуковой волне, то волна соприкасается с вами на более высокой скорости, а если вы убегаете от нее, то она достигает вас с меньшей скоростью. Если бы вместо воздуха был эфир, то скорость света изменялась бы аналогичным образом в зависимости от вашего движения относительно эфира. Действительно, если свет ведет себя аналогично звуку, то подобно тому как люди, летящие на сверхзвуковом самолете, никогда не услышат звука, возникающего позади самолета, так и путешественники, достаточно быстро несущиеся сквозь эфир, смогут перегнать световую волну. Исходя из этих соображений, Максвелл предложил провести эксперимент. Если эфир существует, то Земля, совершая свой путь вокруг

Солнца, должна двигаться сквозь него. Поскольку Земля в январе движется по своей орбите в одном направлении, а, скажем, в апреле или июле — в другом, то должна быть какая-то возможность заметить крошечную разницу в скорости света в разное время года (см. ил., с. 107).

Максвелл намеревался опубликовать эту идею в ведущем научном журнале Великобритании «Труды Королевского общества» («Proceedings of the Royal Society»), но редактор отговорил его, высказав сомнение в возможности подобного эксперимента. Однако в 1879 году, незадолго до своей смерти в возрасте сорока восьми лет от рака желудка, Максвелл отправил другу письмо, в котором рассказал о своей идее. Это письмо было опубликовано уже после смерти Максвелла в журнале «Нейчур» («Nature»), где наряду с другими читателями с ним ознакомился и американский физик Альберт Майкельсон (1852–1931). В 1887 году Майкельсон и еще один американский физик, Эдвард Морли (1839–1923), впечатленные догадкой Максвелла, провели высокоточный эксперимент по измерению скорости, с которой Земля движется сквозь эфир. Они поставили перед собой задачу сравнить скорость света в двух разных направлениях, пересекающихся под прямым углом. Если бы скорость света была постоянна относительно эфира, то измерения должны были показать разные величины скорости света в зависимости от направления луча. Но Майкельсон и Морли такой разницы не обнаружили.

Результат эксперимента явно противоречил модели распространяющихся в эфире электромагнитных волн и должен был заставить ученых отказаться от модели эфира. Но целью Майкельсона было измерение скорости Земли относительно эфира, а не доказательство или опровержение гипотезы об эфире, и полученные им результаты не привели к заключению о том, что эфира не существует. И никто другой не пришел когда-либо

к такому заключению. Действительно, знаменитый британский физик сэр Уильям Томсон (1824–1907), известный также как лорд Кельвин, в 1884 году сказал, что «светоносный эфир — это... единственная субстанция, которой мы доверяем в динамике. В чем мы уверены, так это в реальности и материальности светоносного эфира».

Можно ли было верить в существование эфира после результатов эксперимента Майкельсона — Морли? Как мы уже говорили, зачастую люди стараются спасти модель, дополняя ее различными ухищрениями и особыми условиями. Некоторые допускали, что Земля тянет эфир за собой, так что в действительности мы не движемся относительно него. Голландский физик Хендрик Антон Лоренц (1853–1928) и ирландский физик Джордж Фрэнсис Фицджеральд (1851–1901) предположили, что в системе отсчета, движущейся относительно эфира, часы — вероятно, из-за какого-то пока еще неизвестного механического воздействия — замедляют ход, а расстояния сжимаются, так что измерения скорости света давали бы ту же самую величину. Подобные попытки спасти представление об эфире продолжались почти двадцать лет, пока не появилась поразительная статья неизвестного молодого клерка Альберта Эйнштейна — сотрудника Бернского патентного бюро.

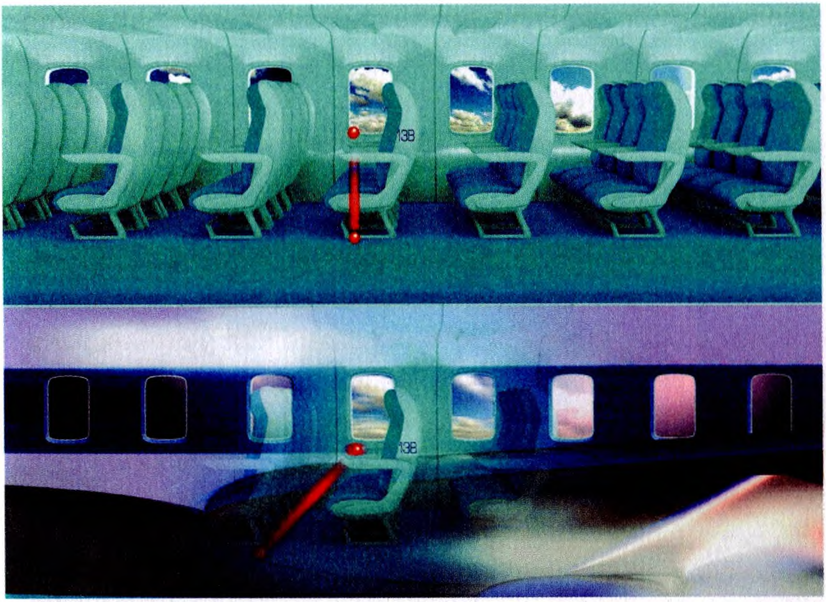
Когда в 1905 году Эйнштейн опубликовал свою статью «Zur Elektrodynamik bewegter Körper» («Об электродинамике движущихся тел»), ему было двадцать шесть лет. В этой статье он сделал простое предположение, что законы физики, и в частности скорость света, должны выглядеть одинаковыми для всех равномерно движущихся наблюдателей. Эта идея, как оказалось, потребовала революции в нашем понимании пространства и времени. Чтобы уяснить, почему это так, представьте себе два события, которые происходят в одной и той же точке внутри реактивного самолета, но в разное время. Для наблюдателя,

находящегося в самолете, расстояние между местами, в которых произошли эти два события, будет равно нулю. Но для наблюдателя, находящегося на земле, они будут разделены расстоянием, которое самолет преодолел за время, прошедшее между событиями. Это показывает, что два наблюдателя, движущиеся относительно друг друга, не достигнут согласия в оценке расстояния между двумя событиями.

Теперь предположим, что два наблюдателя следят за вспышкой света, направленной от хвоста самолета к его носу. Как и в приведенном выше примере, у них не будет согласия в оценке расстояния, которое прошел свет от точки его вспышки на хвосте самолета до точки его приема на носу. Поскольку скорость равна пройденному расстоянию, деленному на время прохождения, это означает, что если у них есть согласие о скорости, с какой перемещается вспышка (то есть о скорости света), то они не согласятся в оценке интервала времени между моментом испускания света и моментом его приема.

Странно здесь то, что хотя у двух наблюдателей получаются различные значения времени, они видят *один и тот же физический процесс*. Эйнштейн не пытался дать искусственного объяснения этому. Он пришел к логичному, хотя и шокирующему заключению, что измерение затраченного времени, как и измерение пройденного расстояния, зависит от наблюдателя, выполняющего измерения. Этот эффект является одним из ключей к теории, изложенной Эйнштейном в его статье 1905 года. Эта теория стала называться специальной теорией относительности.

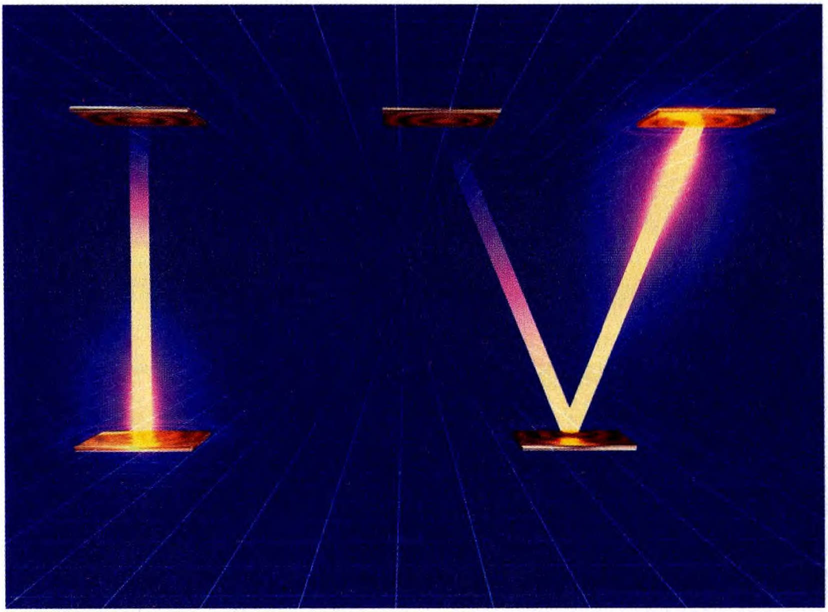
Мы можем увидеть, каким образом этот анализ применим к устройствам хронометрирования, если проанализируем поведение двух наблюдателей, следящих за часами. Согласно специальной теория относительности, часы идут быстрее для того наблюдателя, который неподвижен относительно часов. Для наблюда-



Летящий самолет. Если в реактивном самолете ударить мячиком об пол, то наблюдатель на борту увидит, что при каждом последующем прыжке мячик будет отскакивать от одной и той же точки, а вот наблюдателю, находящемуся на земле, будет казаться, что точки подскакивания мячика разделены большими расстояниями.

телей, которые не находятся в покое относительно часов, они идут медленнее. Если световой импульс, направленный от хвоста самолета к его носу, уподобить тиканью часов, то мы увидим, что для наблюдателя на земле часы идут медленнее, поскольку световому лучу в этой системе отсчета приходится преодолевать бóльшее расстояние. Но этот эффект не зависит от механизма часов, что верно для любых часов, даже для наших собственных — биологических.

В статье Эйнштейна было показано, что, подобно понятию неподвижности, время не может быть абсолютным, как полагал Ньютон. Иными словами, невозможно каждому событию при-



Замедление времени. Кажется, что движущиеся часы идут медленнее. Поскольку это относится и к биологическим часам, то, похоже, движущиеся люди будут стареть медленнее. Но не спешите радоваться: при наших повседневных скоростях никакие обычные часы не смогут измерить эту разницу.

своить время, с которым согласятся все наблюдатели. Напротив, у каждого из наблюдателей будет собственный результат измерения времени, а результаты, полученные двумя наблюдателями, движущимися относительно друг друга, будут различаться. Идеи Эйнштейна противоречат нашему интуитивному ощущению, поскольку их последствия незаметны на скоростях, с которыми мы обычно имеем дело в повседневной жизни. Но они неоднократно подтверждались экспериментально. Представьте, например, часы, расположенные неподвижно в центре Земли, еще одни часы на поверхности Земли и третьи часы — в самолете, летящем либо в направлении вращения Земли, либо против ее вращения. По

отношению к часам в центре Земли часы в самолете, летящем на восток (в направлении вращения Земли), перемещаются быстрее, чем часы, расположенные на поверхности Земли, и потому их ход должен быть медленнее. Подобным же образом часы в самолете, летящем на запад (против вращения Земли), перемещаются медленнее, чем часы на поверхности Земли, и это означает, что часы в самолете должны идти быстрее, чем часы, расположенные на поверхности Земли. Именно это и наблюдалось, когда в эксперименте, проведенном в октябре 1971 года, очень точные атомные часы были отправлены в кругосветный полет. Так что вы сможете продлить свою жизнь, если будете постоянно летать вокруг земного шара в восточном направлении, хотя вас наверняка утомят кинофильмы, которые показывают во время полета. Однако эффект будет весьма малым — около 180 миллиардных долей секунды за каждый облет вокруг земного шара (и даже несколько меньше за счет разницы в гравитации, но здесь мы не будем вникать в это).

Благодаря работе Эйнштейна физики поняли, что своим требованием постоянства скорости света в любой системе отсчета максвелловская теория электромагнетизма говорит о том, что время не может рассматриваться отдельно от трехмерного пространства. Время и пространство взаимосвязаны. Это что-то вроде четвертого измерения «будущее–прошлое», добавленного к привычным «влево–вправо», «вперед–назад» и «вверх–вниз». Физики называют эту связь пространства и времени «пространство-время», а поскольку пространство-время имеет четвертое направление, они назвали время четвертым измерением. В пространстве-времени время больше не отделено от трех пространственных измерений, и, говоря нестрого, как определение «влево–вправо», «вперед–назад» и «вверх–вниз» зависит от положения наблюдателя в пространстве, так и направление времени меняется в зависимости от скорости наблюдателя. Наблюдатели,

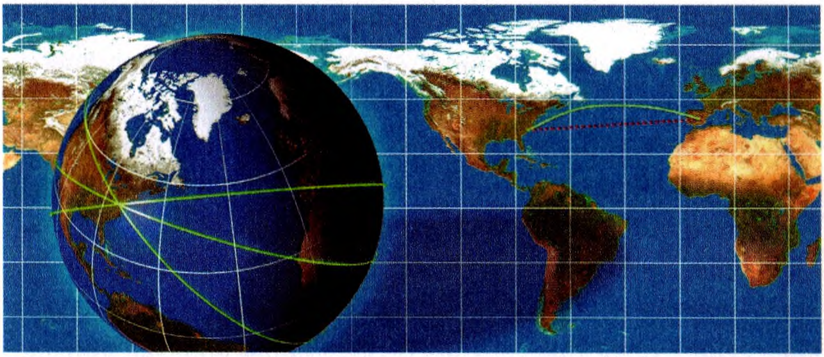
движущиеся с разными скоростями, будут в пространстве-времени двигаться в различных направлениях времени. Специальная теория относительности Эйнштейна стала поэтому новой моделью, избавленной от понятий абсолютного времени и абсолютного покоя (то есть покоя относительно неподвижного эфира).

Вскоре Эйнштейн понял, что для совмещения гравитации (силы тяжести) с теорией относительности необходимо сделать еще одно изменение. Согласно закону всемирного тяготения Ньютона, в любое данное время объекты притягиваются друг к другу с силой, зависящей от расстояния между ними в это время. Но теория относительности отменила понятие абсолютного времени, и потому невозможно было определить, когда нужно измерять расстояние между объектами. Таким образом, теория гравитации Ньютона не вписывалась в специальную теорию относительности, и ее пришлось модифицировать. Противоречие могло показаться чисто техническим затруднением, быть может, даже мелочью, которую возможно как-то обойти без больших переделок теории. Но оказалось, что теория Ньютона была весьма далека от истины.

На протяжении последующих одиннадцати лет Эйнштейн развивал новую теорию гравитации, которую назвал общей теорией относительности. Понятие гравитации в общей теории относительности совсем непохоже на то, которое было у Ньютона. Эйнштейн построил его на революционном предложении о том, что пространство-время не плоское, как предполагалось до этого, а искривлено и искажено содержащимися в нем массой и энергией.

Представить себе искривление удобно на примере поверхности Земли. Хотя земная поверхность всего лишь двухмерна (поскольку на ней есть только два направления: север — юг и восток — запад), мы возьмем это для примера, потому что искривление двухмерного пространства проще изобразить, чем искривление четырехмерного. Геометрия искривленных пространств,

таких как земная поверхность, это не геометрия Евклида, с которой мы хорошо знакомы. Например, на земной поверхности кратчайшее расстояние между двумя точками, которое мы знаем в евклидовой геометрии как прямую, это путь, связывающий две точки по так называемой дуге большого круга. (Большим кругом называется круг, центр которого совпадает с центром земного шара. Линии пересечения таких кругов с поверхностью Земли образуют окружности, вдоль которых и проходят кратчайшие расстояния. Примером подобной окружности может служить экватор, а также любая окружность, полученная при вращении экватора вокруг произвольно расположенных диаметров земного шара.)



Геодезические линии. Кратчайшее расстояние между двумя пунктами на поверхности Земли выглядит на плоской карте изогнутой линией. Имейте это в виду, если вдруг доведется проходить тест на алкоголь.

Представьте, что вы хотите совершить путешествие, например, из Нью-Йорка в Мадрид (эти два города находятся почти на одной широте). Если бы Земля была плоской, то кратчайшим путем было бы направление на восток строго по прямой. Если вы так и поступите, то прибудете в Мадрид, преодолев 3707 миль. Но вследствие искривленности земной поверхности

имеется путь, который на плоской карте выглядит кривым и поэтому кажется более длинным, однако на самом деле он короче. Вы сможете добраться туда же, преодолев только 3605 миль, если ваш маршрут будет пролегать по дуге большого круга. Такой путь пойдет сначала на северо-восток, потом будет постепенно поворачивать на восток, а затем на юго-восток. Разница в расстояниях между двумя точками объясняется искривленностью земной поверхности и указывает на ее неевклидову геометрию. Авиакомпании знают это и прокладывают для пилотов маршруты по дуге большого круга, когда это целесообразно.

Согласно законам движения Ньютона, объекты, будь то пушечные ядра, круассаны или планеты, движутся по прямой, если на них не действует никакая сила, например сила тяжести (гравитация). Но гравитация, по теории Эйнштейна, не является такой же силой, как другие. Скорее, она следствие того, что масса искажает пространство-время, создавая кривизну. В теории Эйнштейна объекты перемещаются по так называемым геодезическим линиям, которые представляют собой прямые линии, расположенные в искривленном пространстве. Геодезическая линия на плоскости — это прямая, а на поверхности земного шара — дуга большого круга. При отсутствии материи геодезические линии в четырехмерном пространстве-времени соответствуют прямым в трехмерном пространстве. Но когда материя присутствует, она искривляет пространство-время, и траектории тел в соответствующем трехмерном пространстве искривляются. Теория Ньютона объясняла это гравитационным притяжением. Когда пространство-время не плоское, траектории объектов выглядят изогнутыми, и создается впечатление, что на них действует какая-то сила.

Общая теория относительности Эйнштейна повторяет специальную теорию относительности для условий, при которых

отсутствует гравитация, и дает почти такие же прогнозы, что и закон всемирного тяготения Ньютона при слабой гравитации нашей Солнечной системы, — но не полностью такие. Если бы общая теория относительности не учитывалась спутниковой навигационной системой GPS, то ошибки в определении положения объектов на земной поверхности накапливались бы со скоростью примерно 10 километров каждый день! Однако подлинная ценность общей теории относительности не в том, что она используется в устройствах, которые помогают вам отыскивать путь к новым ресторанам, а в том, что это совершенно иная модель Вселенной, которая дает прогнозы новых явлений, таких как гравитационные волны и черные дыры. Так общая теория относительности превратила физику в геометрию. Современные технические устройства обладают достаточной чувствительностью для того, чтобы провести различные высокоточные проверки общей теории относительности, и она выдержала все их.

Хотя теория электромагнетизма Максвелла и теория гравитации Эйнштейна (общая теория относительности) совершили революцию в физике, обе они, как и Ньютонова физика, представляют собой классические теории, то есть обе являются моделями, в которых Вселенная имеет единственную историю. Но, как мы рассмотрели в главе 4, на атомном и субатомном уровнях эти модели не согласуются с наблюдениями и вместо них приходится прибегать к квантовым теориям, где Вселенная может иметь любую возможную историю, у каждой из которых своя собственная интенсивность или амплитуда вероятности. Для практических расчетов в повседневной жизни мы по-прежнему можем пользоваться классическими теориями, но если нам хочется понять поведение атомов и молекул, то необходима квантовая версия теории электромагнетизма Максвелла. Если же мы

хотим понять природу ранней Вселенной, когда вся материя и энергия были сжаты в малом объеме, то потребуется квантовая версия общей теории относительности. Эти теории нужны нам еще и потому, что если мы хотим прийти к фундаментальному пониманию природы, то было бы непоследовательно, если одни законы будут квантовые, а другие классические. Поэтому мы должны найти квантовые версии всех законов природы. Они называются квантовополевыми теориями.

Все известные фундаментальные взаимодействия в природе (природные силы) можно разделить на четыре класса:

1. *Гравитация.* Это самая слабая из четырех сил, но ее действие простирается на дальние расстояния. Она влияет на всё во Вселенной как тяготение (притяжение). Это означает, что для больших тел все гравитационные воздействия складываются и могут преобладать над другими силами.

2. *Электромагнетизм.* Это тоже дальнодействующая сила, она гораздо сильнее, чем гравитация, но воздействует только на частицы с электрическим зарядом, отталкивая одноименные заряды и притягивая разноименные. Это означает, что электрические взаимодействия между большими телами гасят друг друга, но на уровне атомов и молекул они преобладают. Электромагнитные силы ответственны за всё в химии и биологии.

3. *Слабое ядерное взаимодействие.* Оно вызывает радиоактивность и играет определяющую роль в образовании химических элементов внутри звезд и в ранней Вселенной. Однако в повседневной жизни мы не входим в контакт с этой силой.

4. *Сильное ядерное взаимодействие.* Эта сила удерживает протоны и нейтроны внутри атомного ядра. Она также удерживает от распада сами протоны и нейтроны, что необходимо, поскольку они состоят из еще более мелких частиц — кварков, о которых мы упоминали в главе 3. Сильное ядерное взаимодействие — это

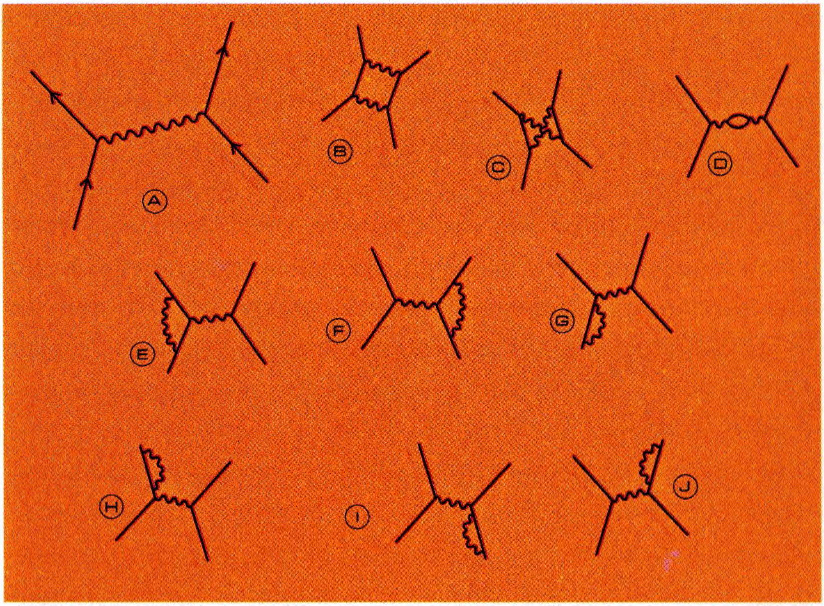
источник энергии для Солнца и ядерной энергетики, но с этим взаимодействием, так же, как и со слабым, мы непосредственно не сталкиваемся.

Первое из фундаментальных взаимодействий (природных сил), для которого была создана квантовая версия, это электромагнетизм. Квантовая теория электромагнитного поля, называемая квантовой электродинамикой (КЭД), была разработана в 1940-х годах Ричардом Фейнманом и рядом других физиков. КЭД стала моделью для всех квантовополевых теорий. Как мы уже говорили, согласно классическим теориям, силы передаются посредством полей. Но в квантовополевых теориях силовые поля состоят из различных элементарных частиц, названных бозонами. Эти переносящие энергию частицы перемещаются туда-сюда между частицами материи, передавая силу. Частицы материи называются фермионами. Электроны и кварки — это примеры фермионов. Фотон, или частица света, — это пример бозона. Бозон передает электромагнитную силу. Происходит следующее: частица материи, например электрон, испускает бозон (частицу силы) и отскакивает в противоположном направлении, подобно тому как пушка подается назад после выстрела. Частица силы затем сталкивается с другой частицей материи и поглощается ею, изменяя движение этой частицы материи. Согласно КЭД, все взаимодействия между заряженными частицами (частицами, реагирующими на электромагнитную силу) описываются как обмен фотонами.

Предсказания КЭД были проверены и с большой точностью совпали с результатами экспериментов. Но выполнение математических расчетов, необходимых для КЭД, может оказаться затруднительным. Проблема, как мы увидим далее,

в том, что когда вы добавляете к вышеупомянутой схеме обмена частицами квантовое требование рассматривать все истории, по которым это взаимодействие может произойти (например, все траектории, по которым силовые частицы могут быть обменяны), то математические расчеты становятся сложными. К счастью, вместе с изобретением нового понятия в квантовых теориях, названного «альтернативные истории» (оно описано в последней главе), Фейнман разработал также лаконичный графический метод учета различных историй — метод, который сегодня используется не только в КЭД, но и во всех квантово-полевых теориях.

Графический метод Фейнмана дает нам возможность с помощью простых изображений наглядно показать каждую составляющую в сумме всех возможных историй (или, как еще говорят, в сумме по историям). Эти изображения, названные диаграммами Фейнмана, стали одним из важнейших инструментов современной физики. В КЭД сумму по всем возможным историям можно представить как сумму по диаграммам Фейнмана, подобным тем, что показаны на иллюстрации (с. 121). На этих диаграммах представлены некоторые из путей, возможных для того, чтобы два электрона рассеяли друг друга с помощью электромагнитной силы; прямые линии на них соответствуют путям электронов, а волнистые — путям фотонов. Считается, что время идет снизу вверх, а точки соединения линий соответствуют излучению или поглощению фотонов электроном. На диаграмме А изображено, как два электрона, сближаясь друг с другом, обмениваются фотоном, а затем каждый продолжает свой путь. Это простейший вариант электромагнитного взаимодействия между двумя электронами, но мы должны рассмотреть все возможные истории. Обратимся к диаграмме В. На ней тоже изображены две сходящиеся линии (сближающиеся электроны)



Диаграммы Фейнмана. Эти диаграммы иллюстрируют процесс, в котором два электрона разлетаются друг от друга.

и две расходящиеся (разлетающиеся электроны), но на этой диаграмме, прежде чем разлететься в стороны, электроны обменялись двумя фотонами. Приведенные здесь диаграммы иллюстрируют лишь несколько возможностей, на самом же деле имеется бесконечное количество диаграмм, для которых требуется выполнить математические вычисления.

Диаграммы Фейнмана не только наглядный способ изображения и классификации возможных вариантов взаимодействия электронов. У них имеются правила, позволяющие по линиям и вершинам на каждой диаграмме прочитать их математическое выражение. Скажем, вероятность того, что сходящиеся электроны с данным первоначальным импульсом в итоге разлетятся каждый со своим конечным импульсом, получа-

ется суммированием результатов, определенных по каждой из диаграмм Фейнмана. Это довольно трудоемкий процесс, поскольку, как мы уже сказали, этих диаграмм бесконечное множество. Более того, хотя сходящимся и расходящимся электронам присвоены определенные энергия и импульс, частицы в замкнутых контурах внутри диаграммы могут иметь любую энергию и любой импульс. Это важно, так как при вычислении фейнмановской суммы нужно суммировать не только по всем диаграммам, но также и по всем значениям энергии и импульса.

Диаграммы Фейнмана оказывают физикам огромную помощь в наглядном представлении и расчете вероятностей процессов, описываемых КЭД. Но они не могут исправить один из важных недочетов теории: когда вы суммируете вклады от бесконечного множества различных историй, вы получаете бесконечный результат. (Если последовательные элементы в бесконечной сумме убывают достаточно быстро, то сумма может оказаться конечной, но этого, к сожалению, здесь не происходит.) В частности, при сложении диаграмм Фейнмана решение словно бы предполагает, что электрон имеет бесконечную массу и заряд. Это абсурд, так как мы можем измерить массу и заряд и увидеть, что они конечны. Чтобы оперировать с этими бесконечностями, была разработана процедура, названная перенормировкой.

Процесс перенормировки включает в себя вычитание величин, считающихся равными бесконечности и отрицательными, так, чтобы при тщательном математическом расчете сумма отрицательных бесконечных значений и положительных бесконечных значений, которые появляются в теории, почти уравновешивалась, исключая небольшой остаток — конечные наблюдаемые значения массы и заряда. Подобные манипуляции могут показаться чем-то таким, за что на школь-

Диаграммы Фейнмана. Ричард Фейнман ездил на примечательном автофургоне, разрисованном диаграммами, названными его именем. Эти изображения были сделаны как иллюстрация обсуждавшихся выше диаграмм. Фейнман умер в 1988 году, но фургон все еще цел — он хранится неподалеку от Калифорнийского технологического института, в Южной Калифорнии.

ном экзамене по математике вам поставили бы неудовлетворительную оценку. И действительно, перенормировка выглядит, с математической точки зрения, сомнительным действием. Одним из последствий является то, что полученные таким методом значения массы и заряда электрона могут оказаться любым конечным числом. Преимущество этого состоит в том, что физики могут подобрать отрицательные бесконечности так, чтобы получить правильный ответ, но неудобство в том, что из-за этого теория не может предсказать массу и заряд

электрона. Но когда мы таким путем установили массу и заряд электрона, то можем при помощи КЭД сделать много иных, очень точных, предсказаний, прекрасно согласующихся с наблюдениями, поэтому перенормировка является одной из важнейших составляющих КЭД. Среди первых удач в области КЭД было, например, точное предсказание так называемого лэмбовского сдвига — небольшого изменения в энергии одного из состояний атома водорода, которое было открыто в 1947 году.

Успех перенормировки в КЭД способствовал попыткам поиска квантовополевых теорий для остальных трех фундаментальных взаимодействий (сил) в природе. Но деление природных сил на четыре класса искусственно и, вероятно, явилось следствием недостатка наших знаний о них. Поэтому ученые стали искать так называемую теорию всего, которая объединила бы все четыре класса в единый закон, сочетающийся с квантовой теорией. Для физики это своего рода Священный Грааль — легендарная чаша, олицетворяющая заветную цель.

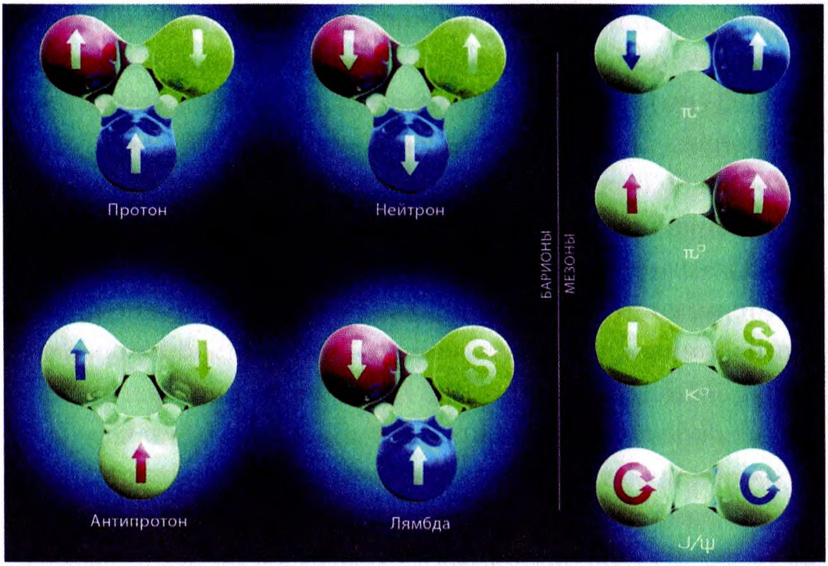
Одно из указаний на то, что объединение — это правильный подход, пришло из теории слабого ядерного взаимодействия. Квантовая теория поля, описывая слабое ядерное взаимодействие как таковое, не может быть перенормирована; то есть она имеет бесконечности, которые не могут быть уравновешены вычитанием конечного числа величин, таких как масса и заряд. Однако в 1967 году пакистанский физик Абдус Салам (1926–1996) и американский физик Стивен Вайнберг (род. 1933) независимо друг от друга предложили теорию, в которой электромагнетизм был объединен со слабым ядерным взаимодействием, и обнаружилось, что это объединение преодолевает проблему бесконечностей. Объединенную силу назвали электрослабой силой. Ее теория может быть перенормирована, и по этой теории

были предсказаны три новые частицы, получившие обозначения W^+, W^- и Z^0. Свидетельство существования Z^0 было найдено в 1973 году учеными из Европейской организации по ядерным исследованиям (CERN) в Женеве. В 1979 году Саламу и Вайнбергу была присуждена Нобелевская премия[1], хотя непосредственных наблюдений частиц W и Z не имелось вплоть до 1983 года.

Сильное ядерное взаимодействие может быть самостоятельно перенормировано в теории, которая называется квантовой хромодинамикой (КХД). Согласно КХД, протон, нейтрон и многие другие элементарные частицы материи состоят из кварков. Кварки обладают специфическим свойством, которое физикам пришлось назвать цветом. От этого и возник термин «хромодинамика», хотя цвет кварков просто удобное обозначение, не имеющее никакого отношения к видимому цвету. Кварки бывают трех так называемых цветов: красного, зеленого и синего. Кроме того, каждый кварк имеет соответствующую ему античастицу, а цвета этих частиц называются антикрасный, антизеленый и антисиний. Идея состоит в том, что только бесцветные сочетания могут существовать как свободные частицы. Есть два пути получить такие «бесцветные» сочетания кварков. Цвет и его антицвет уничтожают друг друга, так что кварк и антикварк образуют бесцветную пару — нестабильную частицу мезон. То же происходит, когда смешиваются три цвета (или антицвета), приводя в результате к отсутствию цвета. Три кварка, по одному каждого цвета, образуют стабильную частицу барион, примерами которого служат протон и нейтрон (а три антикварка образуют античастицу для бариона). Протоны и нейтроны — это барионы, составляющие ядро атома и основу всей обычной материи во Вселенной.

---

[1] Совместно с ними лауреатом премии за ту же работу стал и американский физик Шелдон Глэшоу. — *Науч. ред.*



Барионы и мезоны. Считается, что барионы и мезоны состоят из кварков, связанных вместе сильным ядерным взаимодействием. Когда такие частицы сталкиваются, они могут обмениваться кварками, но наблюдать отдельные кварки невозможно.

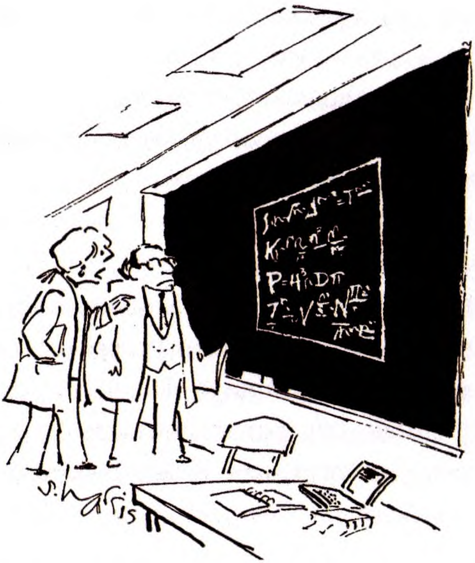
КХД также обладает свойством, которое называют асимптотической свободой. Этого свойства мы коснулись в главе 3, хотя и не употребляли данного термина. Асимптотическая свобода означает, что сильные ядерные взаимодействия между кварками малы в тех случаях, когда кварки плотно прижаты друг к другу, но они возрастают, если кварки попытаться разъединить, — тогда они ведут себя так, будто связаны резиновой лентой. Асимптотическая свобода объясняет, почему мы не можем видеть отдельные кварки в природе и не могли получить их в лаборатории. И все же, хотя и нет возможности наблюдать отдельные кварки, мы принимаем эту модель, поскольку она очень хорошо объясняет поведение протонов, нейтронов и других частиц материи.

В 1970-е годы, после объединения слабого ядерного и электромагнитного взаимодействий, физики стали искать способ, как включить в эту теорию и сильное ядерное взаимодействие. Существует несколько так называемых теорий Великого объединения (ТВО), которые объединяют сильное взаимодействие со слабым и с электромагнитным, но в большинстве своем они предсказывают, что протоны — то, из чего мы созданы, — должны распадаться в среднем примерно через 10^{32} лет. Это очень долгое время жизни, учитывая, что возраст Вселенной всего около 10^{10} лет. Но в квантовой физике, если мы говорим, что средняя продолжительность жизни частицы равна 10^{32} лет, то не имеем в виду, что большинство частиц живет примерно 10^{32} лет: одни из них — чуть больше, другие — чуть меньше. Мы только хотим сказать, что ежегодно каждая частица может разрушиться с вероятностью один шанс из 10^{32}. Это значит, что если вы наблюдаете за емкостью, в которой находится 10^{32} протонов на протяжении всего нескольких лет, то должны увидеть, как распадется несколько протонов. Изготовить такую емкость не так уж трудно, поскольку 10^{32} протонов содержится всего в тысяче тонн воды. Ученые провели такие эксперименты. Оказалось, что выявить распады протонов и выделить их среди похожих событий, которые вызваны космическими лучами, непрерывно льющимися на нас из космоса, — дело непростое. Чтобы минимизировать помехи, эксперименты проводились глубоко под землей, например в шахте горнометаллургической компании «Камиока» в Японии, на глубине 3281 фут под горой, что в определенной степени давало защиту от космических лучей. В результате наблюдений, проведенных в 2009 году, исследователи пришли к выводу: если протоны вообще распадаются, то время их жизни превышает 10^{34} лет, что стало плохой новостью для теорий Великого объединения.

Поскольку с помощью других экспериментов также не удалось обнаружить свидетельств в поддержку ТВО, большинство физиков стало придерживаться особой теории, которую назвали Стандартной моделью. Она включает в себя единую теорию электрослабых взаимодействий и КХД в качестве теории сильных взаимодействий. Но в Стандартной модели электрослабые и сильные взаимодействия действуют раздельно и по-настоящему не объединены. Стандартная модель оказалась весьма удачной, она согласуется со всеми имеющимися наблюдениями, но в конечном счете она неудовлетворительна, так как не только не объединяет электрослабые и сильные взаимодействия, но и не охватывает гравитацию.

Может оказаться трудным объединить в одну теорию сильное взаимодействие с электромагнитным и слабым взаимодействиями, но эти проблемы ничто по сравнению с проблемой присоединения гравитационного воздействия к трем другим или даже с созданием отдельной квантовой теории гравитации.

Причина, по которой оказалось так трудно создать квантовую теорию гравитации, имеет нечто общее с принципом неопределенности Гейзенберга, рассмотренным нами в главе 4. Это не очевидно, но оказалось, что, согласно этому принципу, величина поля и скорость его изменения играют ту же роль, что и положение и скорость частицы, то есть чем точнее определено одно, тем менее точно может быть определено другое. Важное следствие из этого заключается в том, что такого образования, как пустое пространство, нет. Это потому, что пустое пространство подразумевает, что оба значения — величина поля и скорость его изменения — строго равны нулю (в противном случае пространство не было бы пустым). А поскольку принцип неопределенности не позволяет ни полю, ни скорости его изменения обладать точным значением, то пространство нико-



«Боюсь, что даже поместив все это в одну рамку, мы не получили единой теории».

гда не бывает пустым. Оно может находиться в состоянии минимальной энергии, которое называется вакуумом, но это состояние подвержено так называемому квантовому дрожанию, или вакуумным флуктуациям, когда частицы и поля то появляются, то исчезают.

Вакуумные флуктуации можно рассматривать как пáры частиц, которые в какое-то время появляются вместе, разлетаются, потом соединяются и аннигилируют. На диаграммах Фейнмана они изображаются замкнутыми контурами. Эти частицы называются виртуальными. В отличие от реальных виртуальные частицы нельзя непосредственно наблюдать с помощью детектора частиц. Однако можно измерить их косвенные проявления, такие как небольшие изменения энергии электронных орбит, и эти измерения с высокой степенью точности согласуются

с теоретическими предсказаниями. Проблема в том, что у виртуальных частиц есть энергия, а поскольку виртуальных пар бесконечное множество, то они могут обладать бесконечным количеством энергии. В соответствии с общей теорией относительности это означает, что они могут искривить Вселенную до бесконечно малого размера, чего на самом деле не происходит.

Эти проклятые бесконечности напоминают ту же проблему, что и в теориях сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий, кроме тех случаев, в которых перенормировка приводит к устранению бесконечностей. Но замкнутые контуры на диаграммах Фейнмана для гравитации порождают такие бесконечности, которые не могут быть поглощены перенормировкой, поскольку в общей теории относительности нет достаточного числа перенормируемых параметров, чтобы удалить из теории все квантовые бесконечности. В результате мы остались с теорией гравитации, которая предсказывает, что определенные величины, такие как кривизна пространства-времени, являются бесконечными, что никоим образом не вписывается в пригодную для жизни Вселенную. Это означает, что единственная возможность получить практичную теорию — это каким-то образом избавиться от бесконечностей, не прибегая к перенормировке.

В 1976 году было найдено возможное решение этой проблемы. Оно называется теорией супергравитации. Слово «супер» было добавлено вовсе не из-за надежд физиков на то, что было бы «супер», если бы эта теория квантовой гравитации действительно оказалась работающей. «Супер» в данном случае относится к типу симметрии, присущему этой теории и называемому суперсимметрией.

В физике говорят, что система обладает симметрией, если на ее свойства не влияет определенная трансформация, такая, скажем, как вращение в пространстве или получение ее зеркально-

го отображения. Например, если вы перевернете бублик, он все равно будет выглядеть точно таким же (если только с одной стороны он не покрыт шоколадом — в этом случае его лучше просто съесть). Суперсимметрия — это более тонкий вид симметрии, ее нельзя связать с трансформацией в обычном пространстве. Одно из важных значений суперсимметрии состоит в том, что силовые частицы и материальные частицы, а следовательно, сила и материя на самом деле всего лишь две грани одного и того же явления. Практически это означает, что каждая материальная частица, такая как кварк, должна иметь парную силовую частицу, а каждая силовая частица, такая как фотон, должна иметь парную материальную частицу. Здесь есть возможность для решения проблемы бесконечностей, так как оказывается, что бесконечности от замкнутых контуров силовых частиц положительны, а бесконечности от замкнутых контуров материальных частиц отрицательны, а значит, бесконечности, возникающие из силовых частиц и из парных им материальных частиц, имеют тенденцию взаимно уничтожаться. К сожалению, расчеты, необходимые, чтобы выяснить, останутся ли в супергравитации бесконечности, избежавшие уничтожения, оказались столь длинными и сложными, а кроме того, подверженными столь большим возможностям возникновения ошибок, что никто не решился за них взяться. Тем не менее большинство физиков поверили, что супергравитация была, вероятно, правильным ответом на проблему объединения гравитации в единую теорию с другими видами фундаментальных взаимодействий.

Вы могли подумать, что обоснованность суперсимметрии было бы легко проверить — стоит только понаблюдать за свойствами существующих частиц и увидеть, объединяются ли они в пары. Таких парных частиц не наблюдалось. Но физики провели мно-

жество расчетов, которые показывают, что частицы, парные тем, которые наблюдаются, должны быть массивнее протона в тысячу раз, если не больше. На сегодняшний день слишком трудно обнаружить такие частицы экспериментальным путем, но есть надежда, что они все-таки будут получены на крупнейшем в мире ускорителе заряженных частиц — Большом адронном коллайдере, расположенном близ Женевы, на территории Швейцарии и Франции.

Концепция суперсимметрии явилась основой для создания теории супергравитации, но первоначально эта концепция возникла на несколько лет раньше у теоретиков, занимавшихся новой теорией, названной теорией струн. Согласно теории струн, частицы представляют собой не точки, а вибрирующие отрезки, имеющие длину, но не имеющие высоты и ширины — что-то вроде бесконечно тонких отрезков струны. Теории струн тоже приводят к бесконечностям, но считается, что в правильной версии эти бесконечности уничтожатся. Эти теории имеют другое необычное свойство: они применимы только для десятимерного пространства-времени, но не для обычного четырехмерного. Десять измерений — это может звучать заманчиво для ученых, но если в таком пространстве вы забудете, где припарковали свою машину, у вас будут серьезные затруднения. Если эти дополнительные измерения действительно существуют, то почему же мы их не замечаем? Согласно теории струн, они искривлены в пространстве очень малого размера. Чтобы ощутить это, представьте себе двухмерную плоскость. Мы называем ее двухмерной, потому что для определения точки на ней требуется лишь два числа (например, горизонтальная и вертикальная координаты). Другое двухмерное пространство — поверхность соломинки. Чтобы определить положение точки в этом пространстве, нужно знать, где находится эта точка по длине соломинки и где — по ее

окружности. Но если соломинка очень тонкая, вы получите весьма хорошее приблизительное положение, используя только координату вдоль длины соломинки, так что можно будет пренебречь измерением по окружности. Если же соломинка имеет диаметр в одну миллионную миллионной миллионной миллионной миллионной дюйма, то вы вообще не заметите ее размера по окружности. Так выглядят дополнительные измерения в представлении «струнных» теоретиков — сильно искривленными в столь малом масштабе, что не видны нам. В теории струн дополнительные измерения свернуты в так называемое внутреннее пространство, что отличается от трехмерного пространства, с которым мы имеем дело в повседневной жизни. Как мы увидим далее, эти внутренние состояния имеют важное физическое значение, а вовсе не представляют собой всего лишь скрытые измерения, так сказать, заметенные под ковер.

Кроме вопроса об измерениях теория струн отягощена еще одним затруднением: появилось по меньшей мере пять разных

Соломинки и линии. Соломинка на картинке двухмерна, но если ее диаметр довольно маленький или если смотреть издали, она кажется одномерной, как линия.

теорий и миллионы способов того, как эти дополнительные измерения могут быть свернуты, что вызвало большие затруднения у ее защитников, утверждавших, что теория струн — *единственная*, которая может называться теорией всего. Позднее, примерно в 1994 году, ученые начали открывать двойственности: оказалось, что различные теории струн и различные способы сворачивания дополнительных измерений — это лишь разные способы описания одних и тех же явлений в четырехмерном пространстве. Более того, обнаружилось, что теория супергравитации подобным же образом связана с другими теориями. И приверженцы теории струн теперь согласны с тем, что пять различных теорий струн и теория супергравитации — это лишь разные предпосылки к более фундаментальной теории, но каждая из них применима к той или иной ситуации.

О том, что эта более фундаментальная теория называется М-теорией, мы уже упоминали. Похоже, никто не знает, что означает «М». Это может быть master (лучший), miracle (чудо) или mystery (тайна). А похоже, что и все три слова сразу. Ученые по-прежнему стараются разгадать природу М-теории, но это может оказаться и недостижимым. Возможно, что характерная для физиков надежда обрести единую теорию природы окажется тщетной и единой формулировки не существует. А возможно, для описания Вселенной в разных ситуациях придется применять разные теории. Каждая теория может иметь собственную версию реальности, но, согласно моделезависимому реализму, это приемлемо, только если в местах взаимного перекрытия разные теории всегда дают одни и те же прогнозы, то есть можно пользоваться любой из них.

Независимо от того, существует ли М-теория как единое представление или как система разных теорий, нам известны некоторые из ее свойств. Во-первых, в ней имеется одиннадцать, а не десять пространственно-временны́х измерений.

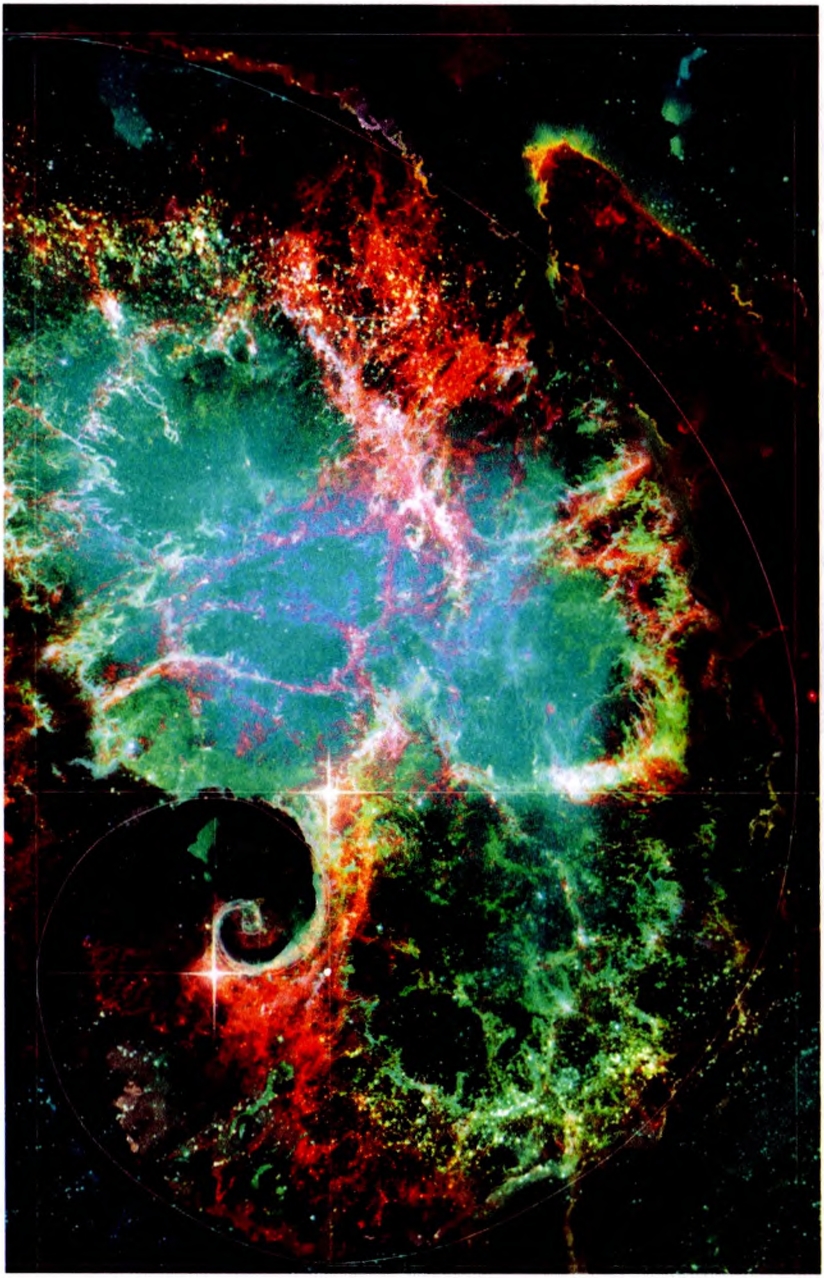
Сторонники теории струн давно подозревали, что предсказание десяти измерений придется уточнить, и недавние работы показали, что одно измерение действительно было пропущено. Также М-теория может рассматривать не только вибрирующие струны, но и точечные частицы, двухмерные мембраны, трехмерные капли и другие объекты, которые трудно изобразить и которые требуют еще больше — до девяти — пространственных измерений. Такие объекты называются p-бранами (p-мерная мембрана), где «p» может принимать значения от 0 до 9.

А как же огромное число способов, с помощью которых можно свернуть крошечные измерения? В М-теории эти дополнительные пространственные измерения не могут быть свернуты как угодно. Математика этой теории ограничивает способы сворачивания измерений внутреннего пространства. Точная форма внутреннего пространства определяет и значения физических констант, таких как заряд электрона, и природу взаимодействий между элементарными частицами. Иными словами, она определяет очевидные законы природы. Мы говорим «очевидные», поскольку речь идет о законах, которые мы наблюдаем в нашей Вселенной, — это законы четырех сил (фундаментальных взаимодействий) и такие параметры, как масса и заряд, характеризующие свойства элементарных частиц.

Но законы М-теории более фундаментальны, поэтому они допускают существование *различных вселенных* с различными очевидными законами в зависимости от того, как у них свернуто внутреннее пространство. М-теория содержит такие решения, согласно которым допустимо существование множества различных внутренних пространств; их возможное число может доходить до 10^{500}. Это означает, что, в соответствии с М-теорией, могут существовать 10^{500} вселенных, у каждой из которых свои законы. Чтобы ощутить, насколько это много, представьте, что если

бы кто-то задался целью проанализировать законы, предсказанные для этих вселенных, затрачивая всего одну миллисекунду на каждую из них, и приступил бы к работе в момент Большого взрыва, то к настоящему времени он изучил бы лишь 10^{20} из них. И это без всяких перерывов на кофе!

Столетия назад Ньютон показал, что математические уравнения могут дать поразительно точное описание того, как взаимодействуют объекты — хоть на Земле, хоть на небесах. Ученые пришли к убеждению, что будущее всей Вселенной можно увидеть, если только иметь надлежащую теорию и достаточные вычислительные возможности. Потом появились квантовая неопределенность, искривленное пространство, кварки, струны и дополнительные измерения, а как итог всего этого — 10^{500} вселенных, каждая со своими законами, и лишь одна из них та Вселенная, которая известна нам. Вероятно, придется распрощаться с первоначальной надеждой физиков создать единую теорию, объясняющую очевидные законы нашей Вселенной как единственно возможное следствие нескольких простых допущений. Где же тогда оказываемся мы? Если М-теория допускает наличие10^{500} наборов очевидных законов, то как же мы угодили именно в ту Вселенную, где действуют законы, которые очевидны для нас? И как быть со всеми остальными возможными мирами?



6

ВЫБИРАЯ НАШУ ВСЕЛЕННУЮ

в мифологии народа бушонго, живущего в Центральной Африке, говорится, что изначально существовали только темнота, вода и великий бог Бумба. Однажды Бумбу из-за боли в животе стошнило, и он изверг солнце. Через некоторое время солнце высушило часть воды, в результате чего возникла суша. Но живот у Бумбы все еще болел, и его продолжало тошнить. Так появились луна, звезды, затем некоторые животные: леопард, крокодил, черепаха — и наконец человек. Племена майя на территории Мексики в Центральной Америке описывают похожую картину, предшествующую сотворению мира: существовали только море, небо и Творец. В одной из легенд майя Творец, несчастный оттого, что некому было прославлять его, создал землю, горы, деревья и большинство животных. Но животные не умели разговаривать, и тогда он решил создать людей. Сначала он сделал их из грязи и земли, но они говорили всякую ерунду. Оставив их разваливаться, он предпринял вторую попытку, на этот раз вырезав людей из дерева. Но эти люди получились тупыми. Он решил уничтожить их, но они сбежали в лес, получив по пути повреждения, которые немного изменили их, превратив в существа, называемые сегодня обезь-

янами. После этого фиаско Творец нашел, наконец, подходящий состав и создал первых людей из белых и желтых зерен кукурузы. Сегодня из кукурузы мы делаем этиловый спирт, но так и не можем потягаться с достижением Творца, создавшего людей, которые этот спирт пьют.

Подобные мифы о сотворении мира пытались ответить на вопросы, которые и мы задаем в этой книге: почему существует Вселенная и почему она такая, как есть. Наша способность обращаться к этим вопросам постоянно возрастала в течение столетий со времен древних греков, а особенно сильно выросла за прошлое столетие. И теперь, вооруженные знаниями из предыдущих глав, мы готовы предложить возможный ответ на эти вопросы.

Даже в древние времена могло быть очевидным, что либо Вселенная совсем недавнее творение, либо люди существовали на протяжении лишь очень краткого периода космической истории. Поскольку знания и техника людей развивались весьма быстро, то если бы люди существовали миллионы лет, человечество в своем развитии ушло бы гораздо дальше.

Согласно Ветхому Завету, Бог создал Адама и Еву всего через шесть дней после сотворения мира. Епископ Ашшер, Примас всей Ирландии с 1625 по 1656 год, определил начало мира более точно: в 9 часов утра 27 октября 4004 года до н. э. Мы придерживаемся другого мнения: люди появились сравнительно недавно, но сама Вселенная зародилась много раньше — около 13,7 миллиарда лет назад.

Первое действительно научное свидетельство того, что Вселенная имела начало, появилось в 1920-х годах. Как мы уже говорили в главе 3, в то время большинство ученых полагали, что Вселенная статична и существовала всегда. Свидетельство обратного было косвенным, основанным на наблюдениях американского астронома Эдвина Хаббла, которые он выполнил на 100-дюймо-

вом телескопе обсерватории Маунт-Вилсон, расположенной на холмах над Пасаденой в Калифорнии. Проанализировав спектры света, приходящего от далеких галактик, Хаббл определил, что почти все галактики удаляются от нас, и чем дальше они находятся, тем быстрее удаляются. В 1929 году он опубликовал закон об отношении скорости их удаления к расстоянию от нас и сделал вывод, что Вселенная расширяется. Если это так, то в прошлом Вселенная должна была быть меньше. Действительно, если экстраполировать процесс в далекое прошлое, то вся материя и энергия во Вселенной должны были быть сконцентрированы в совсем крошечном объеме с невообразимой плотностью и температурой. Если же мы заглянем в прошлое достаточно далеко, то обнаружим, что должен быть тот момент, с которого все началось, — сегодня мы называем это событие Большим взрывом.

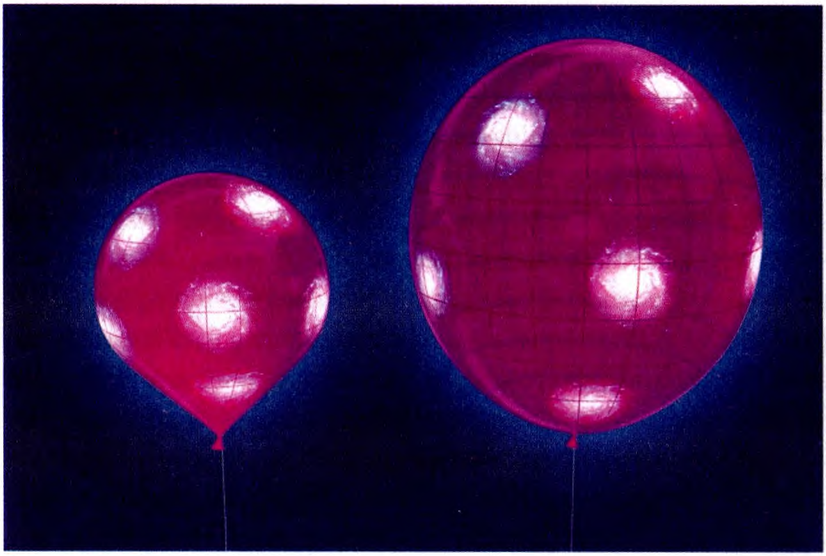
Представление о том, как Вселенная расширяется, имеет некоторую тонкость. Например, мы не имеем в виду, что Вселенная расширяется таким образом, как, скажем, кто-то может расширить свой дом, снося стену и пристраивая новую комнату на месте, где раньше стоял величественный дуб. Пространство, скорее, *растягивается* — расстояния между любыми двумя точками *внутри* Вселенной постоянно увеличиваются.

Такое представление возникло в 1930-х годах в обстановке больших противоречий, но одним из наиболее удачных способов для иллюстрации процесса расширения Вселенной до сих пор является метафора, предложенная в 1931 году английским астрономом Артуром Эддингтоном (1882–1944) из Кембриджского университета. Он уподобил Вселенную поверхности надуваемого резинового шарика, а все галактики — точкам на этой поверхности. Эта картина ясно показывает, почему дальние галактики удаляются быстрее, чем ближние. Например, если радиус шара увеличивается вдвое каждый час, то и расстояние между двумя галактиками на шаре будет каждый час удваиваться.

Если в какое-то время две галактики находятся в одном дюйме друг от друга, то через час они окажутся в двух дюймах друг от друга, то есть они будут выглядеть удаляющимися одна от другой со скоростью один дюйм в час. Но если начальное расстояние между ними было два дюйма, то час спустя между ними будет уже четыре дюйма, — следовательно, скорость их взаимного удаления будет равна двум дюймам в час. Это как раз то, что и обнаружил Хаббл: чем галактика дальше, тем быстрее она от нас удаляется.

Важно понимать, что расширение пространства не влияет на размер материальных объектов, таких как галактики, звезды, яблоки, атомы и другие тела, удерживаемые вместе той или иной силой. Например, если мы обведем в круг группу галактик на шаре, этот круг не будет расширяться вместе с шаром. Поскольку галактики удерживаются гравитационными силами, при увеличении шара нарисованный нами круг и галактики внутри него будут сохранять свои размеры и очертания. Это нужно учитывать, потому что мы можем выявить расширение, только если наши измерительные инструменты имеют фиксированные размеры. Если бы все свободно расширялось, то мы сами, наша измерительная рулетка и наши лаборатории расширялись бы пропорционально расширению пространства, и мы бы не заметили никакой разницы.

Для Эйнштейна утверждение о расширении Вселенной оказалось новостью. Но предположение о возможности того, что галактики удаляются друг от друга, было высказано им на теоретических предпосылках еще за несколько лет до статей Хаббла. В 1922 году российский физик и математик Александр Фридман (1888–1925) рассмотрел, что должно произойти в модельной Вселенной, основанной на двух допущениях, значительно упрощающих математические расчеты: что Вселенная выглядит одинаково в любом направлении и что она выглядит так из любой



Вселенная в виде воздушного шарика. Удаление других галактик от нас можно представить, вообразив, что весь космос распластался по поверхности постоянно раздувающегося гигантского воздушного шарика.

точки наблюдения. Сейчас мы знаем, что первое допущение Фридмана не совсем верно — к счастью, Вселенная не везде одинакова! Если мы посмотрим в одну сторону, то можем увидеть Солнце, в другую — Луну или стаю мигрирующих летучих мышей. Но Вселенная выглядит примерно одинаковой в любом направлении, если рассматривать ее в гораздо более крупном масштабе — даже крупнее, чем расстояния между галактиками. Это что-то вроде взгляда на лес с высоты птичьего полета. Если вы достаточно близко, то можете увидеть отдельные листья или хотя бы деревья и промежутки между ними. Но если вы так высоко, что большим пальцем можете заслонить квадратную милю леса, то деревья сольются в единое зеленое пятно. И в таком масштабе мы бы сказали, что лес однороден.

Основываясь на своих допущениях, Фридман смог найти решение уравнений Эйнштейна, при котором Вселенная расширялась именно так, как вскоре предстояло обнаружить Хabблу. В частности, в модели Фридмана Вселенная начинается с нулевого размера и расширяется до тех пор, пока гравитационное притяжение не остановит это расширение и в конечном счете не приведет ее к сжатию внутрь самой себя. (Как оказалось, есть два других типа решений уравнений Эйнштейна, тоже удовлетворяющих допущениям модели Фридмана: одно — соответствующее Вселенной, в которой расширение продолжается вечно, хотя и с небольшим замедлением, а другое — для Вселенной, в которой скорость расширения постоянно замедляется, стремясь к нулю, но никогда его не достигая.) Фридман умер через несколько лет после публикации своей работы, и его идеи оставались почти неизвестными вплоть до периода, последовавшего за открытием Хаббла. Но в 1927 году бельгийский профессор астрофизики, римско-католический священник Жорж Леметр (1894–1966) предложил похожую идею: если проследить историю мира назад, в прошлое, то Вселенная будет становиться все меньше и меньше, пока не наступит событие, приведшее к ее творению, — то, что мы сегодня называем Большим взрывом.

Сценарий с Большим взрывом нравится далеко не всем. И даже сам термин «Большой взрыв» придумал в 1949 году кембриджский астрофизик Фред Хойл (1915–2001), который считал, что Вселенная расширялась всегда, и использовал новый термин как иронический. Первые непосредственные наблюдения, подтверждающие эту идею, появились только в 1965 году, после обнаружения слабого микроволнового фонового излучения, исходившего от всего космоса. Это космическое микроволновое фоновое излучение (КМФИ, или реликтовое излучение) такое же, как в вашей микроволновке, но мощность его гораздо меньше. Вы можете наблюдать КМФИ, настроив телевизор на

неработающий канал, — несколько процентов от увиденного на экране «снега» будет вызвано этим излучением. КМФИ было открыто случайно двумя американскими учеными из корпорации «Белл Лабз», пытавшимися устранить шум от своей микроволновой антенны. Сначала они думали, что этот шум вызван статическим электричеством, источником которого могли быть кучи птичьего помета — от голубей, ночевавших внутри антенны, имеющей вид огромного раструба. Но оказалась, что у их проблемы более интересное происхождение: КМФИ — это излучение, оставшееся после очень горячей и плотной ранней Вселенной, которая существовала вскоре после Большого взрыва. По мере расширения она остывала, пока излучение не превратилось в тот слабый остаток, который мы наблюдаем сегодня. В настоящее время эти микроволны смогут разогреть вашу пищу только до –270 °C, что лишь на три градуса выше абсолютного нуля и не очень подходит для приготовления попкорна.

Астрономы обнаружили также и другие свидетельства, подтверждающие связь Большого взрыва с горячей и крохотной ранней Вселенной. Так, примерно в течение одной минуты после взрыва температура Вселенной была выше, чем в центре типичной звезды. В это время вся Вселенная работала как термоядерный реактор. Реакции прекратились, когда Вселенная достаточно расширилась и остыла, но, согласно теории, к этому времени она должна была состоять в основном из водорода и на 23% из гелия, с небольшой примесью лития и бериллия (все более тяжелые элементы появились позже внутри звезд). Расчеты хорошо согласуются с теми количествами гелия, водорода, лития и бериллия, которые мы наблюдаем.

Измерения содержания гелия и КМФИ стали убедительными свидетельствами в пользу сценария Большого взрыва как правдоподобного описания ранней Вселенной. Но не нужно воспринимать Большой взрыв буквально, то есть думать, что теория Эйн-

штейна дает истинную картину *происхождения* Вселенной. Потому что общая теория относительности предсказывает лишь, что должна была иметься точка во времени, когда температура, плотность и кривизна Вселенной были бесконечны, — ситуация, которую математики называют сингулярностью. Для физиков это означает, что в этой точке теория Эйнштейна перестает действовать и потому не может быть использована для предсказания того, как Вселенная началась. Эта теория пригодна только для рассмотрения последующего развития мира. Поэтому, хотя мы можем пользоваться уравнениями общей теории относительности и нашими наблюдениями неба, чтобы узнать, какой была Вселенная в ее раннем возрасте, было бы неверным распространять сценарий Большого взрыва на весь путь, вплоть до самого начала.

К вопросу о происхождении Вселенной мы вскоре вернемся, но прежде несколько слов о первой фазе ее расширения. Физики называют ее инфляцией. Если вы не живете в Зимбабве, где денежная инфляция недавно превысила 200 000 000 процентов, то этот термин не должен вас шокировать. Но даже по самым осторожным оценкам во время той космологической инфляции Вселенная расширилась в 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 раз за 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 01 долю секунды. Это как если бы монетка диаметром 1 см мгновенно стала в десять миллионов раз шире нашей Галактики — Млечного Пути. Такое явление может показаться нарушением теории относительности, которая гласит, что скорость света не может быть превышена ничем, но это ограничение скорости неприменимо к расширению самого пространства.

Впервые предположение, что такой эпизод инфляции мог произойти, было выдвинуто в 1980 году на основе рассуждений, выходящих за рамки общей теории относительности Эйнштейна и с учетом аспектов квантовой теории. Поскольку у нас нет полной квантовой теории гравитации, детали все еще прорабатыва-

ются, и физики не имеют полной уверенности в том, как именно происходила инфляция. Но согласно теории, расширение, вызванное инфляцией, не было бы *полностью* однородным, как предсказано традиционной моделью Большого взрыва. Такие неоднородности привели бы к крошечным различиям в температуре КМФИ в различных направлениях. Эти отклонения слишком малы, поэтому их невозможно было заметить с помощью тех приборов, которыми пользовались в 1960-е годы. Впервые их обнаружили в 1992 году спутником COBE, запущенным NASA, а позднее они были измерены пришедшим ему на смену в 2001 году спутником WMAP. В результате этого теперь мы уверены, что инфляция действительно была.

Хотя крохотные отклонения в КМФИ представляют собой доказательство инфляции, но, как ни странно, одна из причин того, что инфляция является важной концепцией, — это почти полная *однородность* температуры КМФИ. Если вы нагреете одну часть объекта до температуры более высокой, чем его окружение, и подождете, то горячее пятно будет охлаждаться, а окружение нагреваться, пока температура не уравняется. Таким образом, можно ожидать, что в конце концов Вселенная примет однородную температуру. Но этот процесс требует времени, и если бы не произошло инфляции, то в истории Вселенной не хватило бы времени, чтобы нагреть расположенные далеко друг от друга области до равной температуры, учитывая, что скорость такой передачи тепла ограничена скоростью света. Период очень быстрого расширения (гораздо быстрее скорости света) устраняет эту трудность, так как тогда имелось бы достаточно времени, чтобы произошло выравнивание температуры в пределах весьма крошечной доинфляционной ранней Вселенной.

Инфляция объясняет природу взрыва при Большом взрыве, по крайней мере в том смысле, почему расширение, коим он является, было гораздо интенсивнее, чем расширение, предска-

занное традиционной теорией Большого взрыва с точки зрения общей теории относительности для того временно́го интервала, в котором произошла инфляция. Проблема в том, что, для того чтобы наши теоретические модели инфляции работали, начальное состояние Вселенной должно было быть установлено весьма специфическим путем, который почти невероятен. Так что традиционная теория инфляции решает одни вопросы, но ставит другие, а именно: необходимость весьма специфического начального состояния. Этот вопрос нулевого времени не устранен в теории создания Вселенной, которую мы сейчас опишем.

Поскольку мы не можем описать сотворение мира при помощи общей теории относительности Эйнштейна, то, если мы хотим описать происхождение Вселенной, общую теорию относительности надо заменить более полной теорией. Можно ожидать, что более полная теория все равно необходима, даже если бы общая теория относительности не рухнула, поскольку она не учитывает мелкомасштабные структуры материи, подчиняющиеся квантовой теории. В главе 4 мы упоминали, что для большинства практических нужд квантовая теория не имеет существенного значения при исследовании крупномасштабной структуры Вселенной, поскольку эта теория применяется для описания природы на микроуровнях. Но если вернуться в чрезвычайно далекое прошлое, то обнаружится, что размер Вселенной выражается в так называемых планковских единицах, применяющихся для сверхмалых величин. Поперечник Вселенной в то время составлял бы одну миллиардную триллионной триллионной доли сантиметра, а в этом масштабе квантовую теорию необходимо принимать во внимание. И хотя у нас еще нет полной квантовой теории гравитации, мы знаем, что начало Вселенной было квантовым событием. В результате, когда мы объединили квантовую теорию с общей теорией относительности (по крайней мере, временно), чтобы получить теорию инфляции, и хотим вернуться

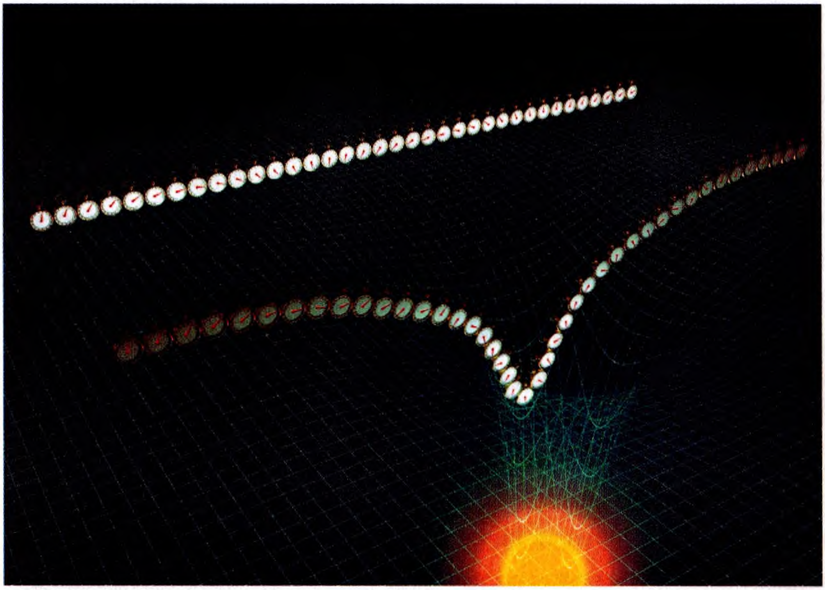
Искривление пространства. Материя и энергия искривляют пространство, изменяя траектории движения объектов.

еще дальше, чтобы понять происхождение Вселенной, мы должны объединить все наши знания по общей теории относительности с квантовой теорией.

Чтобы разобраться, как это работает, нам нужно понять принцип, по которому гравитация искривляет пространство и время. Наглядно изобразить искривление пространства проще, чем искривление времени. Представьте себе, что поверхность бильярдного стола — это Вселенная. Такая поверхность представляет собой плоское пространство, по крайней мере когда мы примем во внимание только два измерения. Если вы покатите по столу шар, он будет двигаться по прямой. Но если стол будет где-то искривлен или на нем будет впадина (как показано на иллюстрации), то траектория движения шара отклонится от прямой.

Можно легко заметить, как в этом примере искривляется бильярдный стол, потому что он изгибается внутрь или наружу в третьем измерении, которое мы можем видеть. Представить искривление пространства-времени в нашей Вселенной труднее, поскольку мы не можем выйти из нашего собственного пространства-времени, чтобы увидеть это искривление со стороны. Но искривление может быть выявлено, даже если вы и не в состоянии оказаться снаружи и взглянуть на него в масштабе более крупного пространства. Его можно обнаружить изнутри того же самого пространства. Представьте себе микроскопического муравья, для которого пространство ограничено поверхностью стола. Даже не имея возможности покинуть стол, муравей может выявить искривление путем точного определения расстояний. Например, длина окружности в плоском пространстве всегда чуть больше, чем троекратная длина его диаметра (точная величина получается умножением диаметра на π). Но если муравей пойдет напрямик с одной стороны окружности, очерчивающей впадину на столе (см. ил., с. 151), на другую ее сторону, то он обнаружит, что расстояние до дальнего края больше, чем ожидаемая одна треть длины окружности. В случае же, если впадина достаточно глубока, муравей может даже обнаружить, что путь вокруг *короче*, чем напрямик. То же самое справедливо и относительно искривления пространства в нашей Вселенной: это искривление вытягивает или сжимает расстояния между точками пространства, изменяя его геометрию или форму так, что это можно измерить изнутри Вселенной. Искривление времени растягивает или сжимает интервалы времени аналогичным образом.

Вооружившись этими идеями, давайте вернемся к вопросу о том, как начиналась Вселенная. Мы можем говорить о пространстве и времени раздельно (как мы уже и поступали в этом обсуждении), когда рассматриваем ситуации с низкими скороста-



Искривление пространства-времени. Материя и энергия искривляют время, из-за чего временнóе измерение переплетается с пространственным.

ми и слабой гравитацией. Вообще же время и пространство могут оказаться тесно переплетенными, и потому процессы их растягивания и сжатия тоже в какой-то степени смешиваются. Это смешивание играло важную роль в ранней Вселенной и является ключом к пониманию начала времени.

Вопрос о начале времени отчасти напоминает вопрос о крае мира. Когда люди представляли себе мир плоским, они задумывались, не выльется ли море через край. Это было проверено на опыте, и оказалось, что можно обойти мир вокруг и никуда не упасть. Вопрос о том, что же происходит на краю мира, решился, когда люди поняли, что мир представляет собой не плоскость, а искривленную поверхность. Время, однако, выглядело похожим на образцовый железнодорожный путь. Если бы

у него было начало, то должен был бы иметься некто (то есть Бог), кто запустил бы движение поездов. Хотя общая теория относительности Эйнштейна объединила время и пространство в виде пространства-времени и включила в рассмотрение определенное смешивание пространства и времени, время по-прежнему отличается от пространства и либо имеет начало и конец, либо длится вечно. Однако как только мы добавляем эффекты квантовой теории к теории относительности, в предельных случаях искривление может оказаться столь существенным, что время поведет себя как другое пространственное измерение.

В ранней Вселенной — когда она была столь малой, что ею могли управлять как общая теория относительности, так и квантовая теория, — фактически имелось четыре измерения в пространстве и ни одного во времени. Это означает, что когда мы говорим о начале Вселенной, то касаемся тонкого вопроса: ведь когда мы смотрим назад, на самую раннюю Вселенную, то времени в нашем обычном понимании там не существовало! Мы должны признать, что наши привычные представления о пространстве и времени неприменимы к самой ранней Вселенной. Это за пределами нашего обычного понимания, но не за пределами нашего воображения или нашей математики. Если в ранней Вселенной все четыре измерения вели себя как пространственные, то что же происходит с началом времени?

Осознание того, что время может вести себя как еще одно направление в пространстве, дает возможность избавиться от той проблемы, что у времени должно быть начало, подобно тому как мы избавились от представления о крае мира. Предположим, что начало Вселенной — это нечто вроде Южного полюса Земли, а градусы широты играют роль времени. Окружности с постоянной широтой (на географической карте они называются параллелями) будут изображать размер Вселенной. По мере движения

от Южного полюса на север эти окружности расширяются. Вселенная началась как точка на Южном полюсе, но Южный полюс мало чем отличается от любой другой точки. Спрашивать, что было до начала Вселенной, станет бессмысленно, потому что южнее Южного полюса ничего нет. В этом примере пространство-время не имеет границы — на Южном полюсе законы природы такие же, как и в других местах. Аналогично этому, когда общую теорию относительности объединяют с квантовой теорией, вопрос о том, что произошло до начала Вселенной, выглядит бессмысленным. Это представление о том, что истории Вселенной должны иметь вид замкнутых поверхностей без границ, называется условием безграничности.

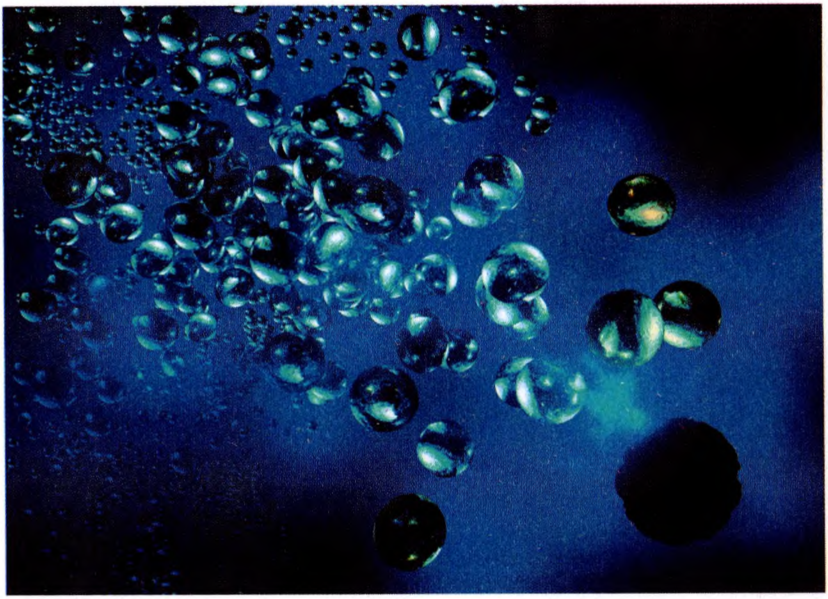
В течение столетий многие, включая Аристотеля, чтобы избежать вопроса, как возникла Вселенная, полагали, что она должна была существовать всегда. Другие считали, что Вселенная имела начало, и использовали это как аргумент для доказательства бытия Бога. Понимание того, что время ведет себя подобно пространству, дает новую альтернативу. Это развеивает вековое возражение по поводу того, что Вселенная имела начало, но также означает, что началом Вселенной управляли научные законы и не было нужды в том, чтобы ее привел в движение некий Бог.

Если происхождение Вселенной было квантовым событием, оно должно точно описываться фейнмановской суммой историй. Однако непросто применить квантовую теорию ко всей Вселенной, где наблюдатели — часть наблюдаемой системы. В главе 4 мы видели, как частицы материи, пролетевшие через двухщелевую преграду, создали интерференционный узор, подобно волнам на воде. Фейнман объяснил это тем, что частица не имеет единственной истории, то есть, двигаясь из начальной точки *A* в конечную точку *B*, она следует не по одной определенной траектории, а одновременно по всем возможным траекториям, соединяющим эти точки. С такой позиции интерферен-

ция не удивительна, потому что частица, например, может проходить одновременно через обе щели и интерферировать сама с собой, без взаимодействия с другими частицами. Применительно к движению частицы метод Фейнмана говорит нам, что для вычисления вероятности попадания частицы в любую конечную точку нужно рассмотреть все возможные истории, по которым частица могла проследовать из начальной точки в конечную. Методы Фейнмана можно использовать, чтобы рассчитать квантовые вероятности для наблюдений Вселенной. Если их применить к Вселенной в целом, то не может быть никакой точки *A*, поэтому мы сложим все истории, которые удовлетворяют условию безграничности и заканчиваются во Вселенной, наблюдаемой нами сегодня.

В таком понимании Вселенная появилась самопроизвольно и начала развиваться всеми возможными путями. Большинство из них относится к другим вселенным. Хотя некоторые из тех вселенных похожи на нашу, большинство из них сильно отличаются от нее, причем отличаются не только в деталях (таких, например, как действительно ли Элвис Пресли умер молодым или подают ли морковь на десерт), главное — они отличаются даже своими очевидными законами природы. В действительности существует множество вселенных с множеством различных наборов физических законов. Кое-кто делает великую загадку из этой идеи, которую иногда называют концепцией мультивселенной, но это всего лишь иные выражения фейнмановской суммы по всем историям.

Чтобы представить себе это, изменим предложенную Эддингтоном аналогию с надувным шариком и вместо этого представим расширяющуюся Вселенную в виде поверхности пузыря. Наша картина самопроизвольного квантового возникновения Вселенной будет тогда немного напоминать появление пузырьков пара в кипящей воде. Множество крошечных пузырьков по-

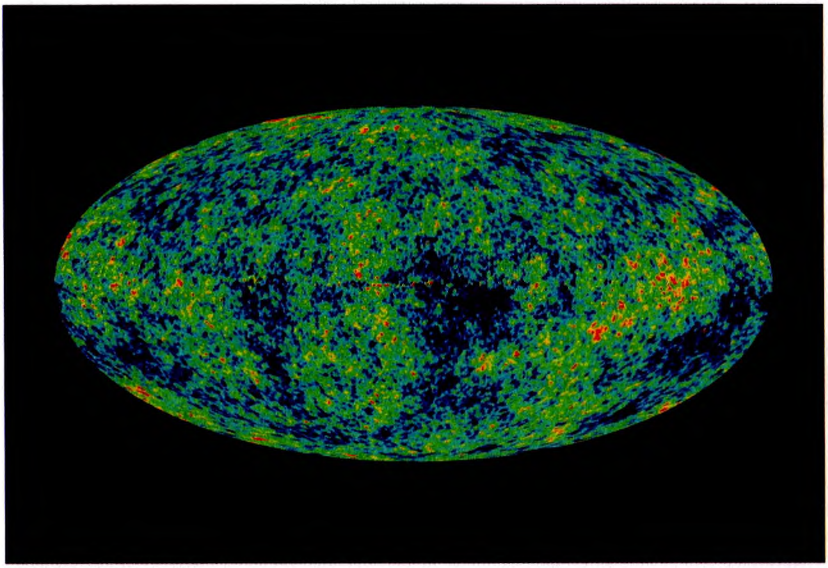


Мультивселенная. Квантовые флуктуации ведут к появлению крохотных вселенных из ничего. Некоторые из них достигают критического размера, затем, благодаря инфляции, расширяются, формируя галактики, звезды и — по крайней мере в одном случае — существ вроде нас.

является, а потом снова исчезает. Они подобны мини-вселенным, которые расширяются, но тут же лопаются, будучи все еще микроскопического размера. Эти пузырьки представляют собой возможные альтернативные вселенные, но они не вызывают большого интереса, так как их жизнь слишком коротка, чтобы дать развиться галактикам и звездам, не говоря уж о разумной жизни. Однако некоторые пузырьки вырастают до столь крупных размеров, что уже не лопаются. Они будут продолжать расширяться со всё возрастающей скоростью и образуют пузырьки пара, которые мы можем видеть. Такие пузырьки соответствуют вселенным, начинающим расширение при постоянно растущей скорости, — иными словами, вселенным в состоянии инфляции.

Как мы уже говорили, вызванное инфляцией расширение вселенных не совсем однородно. В сумме по историям есть лишь одна полностью однородная и регулярная история, и она будет иметь наибольшую вероятность. Но и многие другие, лишь слегка неоднородные, будут иметь почти такие же вероятности. Вот почему инфляция предсказывает, что ранняя Вселенная, скорее всего, была слегка неоднородной, что соответствует тем небольшим различиям в интенсивности, которые были обнаружены у космического микроволнового фонового излучения (КМФИ). С неоднородностями в ранней Вселенной нам повезло. Почему же повезло? Да потому что однородность хороша, если вы не хотите, чтобы сливки отделились от молока, но однородная вселенная — скучная вселенная. Неоднородности в ранней Вселенной важны потому, что если некоторые области имеют чуть большую плотность, чем остальные, то гравитационное притяжение избыточной плотности замедлит расширение этой области по сравнению с окружающими. Поскольку сила гравитации медленно стягивает материю, это в конечном счете может привести к коллапсу и образованию галактик и звезд, что повлечет за собой появление планет и по крайней мере в одном случае — людей. Поэтому посмотрите внимательно на карту неба в микроволновом диапазоне. Это проектный чертеж всех структур во Вселенной. Мы являемся продуктом квантовых флуктуаций в очень ранней Вселенной. Верующий человек мог бы сказать об этом: Бог действительно играет в кости со Вселенной.

Эта идея приводит к представлению о Вселенной, которое глубоко отличается от традиционной концепции и требует изменения нашего подхода к истории Вселенной. Чтобы делать прогнозы в космологии, нам нужно рассчитать вероятности различных состояний Вселенной в настоящее время. В физике обычно выдвигают предположение о некотором начальном состоянии



Микроволновый фон. Эта карта неба создана в 2010 году по данным, собранным спутником WMAP за семь лет. Различными цветами показаны флуктуации температуры, имевшие место 13,7 миллиарда лет назад. Амплитуда температурных различий составляет менее одной тысячной градуса Цельсия, и все же они стали теми семенами, из которых выросли галактики. (Карта: NASA и научная группа проекта WMAP)

системы, а затем рассматривают ее развитие во времени, используя соответствующие математические уравнения. Учитывая данные о состоянии системы в какое-то время, можно пытаться вычислить вероятность того, что система будет в каком-то другом состоянии в более позднем времени. В космологии обычно предполагают, что у Вселенной одна определенная история. Используя законы физики, можно рассчитать, как эта история развивается во времени. В космологии такой подход называется «снизу вверх». Но поскольку мы должны принимать во внимание квантовую природу Вселенной, выражаемую фейнманов-

ской суммой по историям, то амплитуда вероятности того, что Вселенная сейчас находится в определенном состоянии, получается суммированием вкладов от всех историй, которые удовлетворяют условию безграничности и приводят к рассматриваемому (исходному) состоянию. Иными словами, в космологии не нужно прослеживать историю Вселенной «снизу вверх», поскольку это предполагает существование единственной истории с четко определенными исходной точкой и развитием. Вместо этого нужно проследить истории «сверху вниз», перемещаясь назад от настоящего времени. Некоторые истории будут более вероятны, чем другие, а в их сумме, как правило, будет преобладать единственная история, которая начинается с возникновения Вселенной и заканчивается в рассматриваемом состоянии. Но возможны и другие истории, которые привели бы к тому, что в настоящее время у Вселенной могли бы иметься иные состояния. Из этого проистекает совершенно другой взгляд на космологию и на отношение между причиной и следствием. Истории, включенные в фейнмановскую сумму, не имеют независимого существования, они зависят от того, что измеряется. Скорее мы создаем историю Вселенной своим наблюдением, чем ее история создает нас.

То, что Вселенная не имеет единственной независимой от наблюдателя истории, может показаться несовместимым с определенными известными нам фактами. Возможна какая-нибудь история Вселенной, в которой Луна сделана из сыра рокфор. Но по нашим наблюдениям Луна сделана не из сыра, и это плохая новость для мышей. Значит, истории, в которых Луна сделана из сыра, не имеют значения для нынешнего состояния нашей Вселенной, хотя они могут иметь значение для других вселенных. Все это похоже на научную фантастику, но это вовсе не фантастика.

Важное значение космологического подхода «сверху вниз» состоит в том, что очевидные законы природы зависят от исто-

рии Вселенной. Многие ученые полагают, что существует единая теория, объясняющая эти законы, а также и физические константы природы, такие как масса электрона или размерность пространства-времени. Но при подходе «сверху вниз» требуется, чтобы очевидные законы природы были различны для различных историй.

Рассмотрим наблюдаемую размерность Вселенной. Согласно М-теории, у пространства-времени имеется десять пространственных измерений и одно временнóе. Идея состоит в том, что семь пространственных измерений свернуты столь сильно, что мы не замечаем их и пребываем в иллюзии, что существует только три оставшихся большими измерения, с которыми мы знакомы. Один из главных нерешенных вопросов в М-теории — почему в нашей Вселенной нет других больших измерений и почему измерения свертываются?

Многие хотели бы полагать, что есть некий механизм, заставляющий все пространственные измерения, кроме трех, самопроизвольно свертываться. Иной вариант состоит в том, что все измерения могли быть с самого начала свернуты, но по какой-то причине три пространственных измерения развернулись, а остальные нет. Однако представляется, что нет динамической причины для того, чтобы Вселенная зародилась четырехмерной. Космология «сверху вниз» предсказывает, что число больших пространственных измерений никаким законом физики не устанавливается. Для каждого числа больших пространственных измерений — от нуля до десяти — будет своя квантовая амплитуда вероятности. Фейнмановская сумма учитывает их все, для каждой возможной истории Вселенной, но тот наблюдаемый факт, что у нашей Вселенной имеется три больших пространственных измерения, выделяет подкласс историй, имеющих такие свойства, которые можно наблюдать. Иными словами, квантовая вероятность того, что Вселенная имеет иные пространственные

измерения, кроме трех больших, не важна, так как мы уже определили ее размерность и установили, что находимся во Вселенной с тремя большими пространственными измерениями. Поэтому, пока амплитуда вероятности для трех больших пространственных измерений не равна точно нулю, не важно, насколько она мала по сравнению с амплитудой вероятности другого числа измерений. Это все равно что спрашивать об амплитуде вероятности того, что нынешний Папа Римский китаец. Мы знаем, что он немец, хотя вероятность того, что он китаец, выше, поскольку китайцев больше, чем немцев[1]. Точно так же мы знаем, что у нашей Вселенной три больших пространственных измерения, и поэтому, даже если другое число больших пространственных измерений может иметь бóльшую амплитуду вероятности, нас интересуют только те истории, которые связаны с тремя измерениями.

А как же свернутые измерения? Вспомним, что в М-теории точная форма оставшихся свернутых измерений — внутреннее пространство — определяет как значения физических величин вроде заряда электрона, так и природу взаимодействия между элементарными частицами, то есть природные силы (они называются фундаментальными взаимодействиями в природе). Все это было бы прекрасно, если бы М-теория позволяла измерениям свертываться только в одну форму или хотя бы в несколько, из которых все, кроме одной, можно было бы каким-то образом исключить и остаться только с одной формой, приемлемой для очевидных законов природы. Но существуют амплитуды вероятности для, возможно, 10^{500} различных внутренних пространств, и в каждом случае дело сводится к своим собственным законам и величинам для физических констант.

---

[1] Этот пример выглядит нелогичным, поскольку Папа Римский избирается из католиков, которых среди немцев в одной только Германии по крайней мере вчетверо больше, чем среди китайцев. — *Науч. ред.*

Если строить историю Вселенной «снизу вверх», то нет причины, по которой Вселенная должна прийти к такому внутреннему пространству для взаимодействия частиц, какое мы наблюдаем сегодня, — к Стандартной модели (взаимодействия элементарных частиц). Но если строить ее «сверху вниз», то мы считаем, что существует множество вселенных со всеми возможными внутренними пространствами. В некоторых вселенных электроны весят как мяч для гольфа, а сила гравитации сильнее магнетизма. К нашей Вселенной применима Стандартная модель со всеми ее параметрами. Можно рассчитать амплитуду вероятности для внутреннего пространства, приводящую к Стандартной модели на основе условия безграничности. Как и в случае с вероятностью существования вселенной с тремя большими пространственными измерениями, не важно, насколько мала эта амплитуда по сравнению с другими, ведь мы уже заметили, что Стандартная модель описывает нашу Вселенную.

Теорию, о которой мы рассказываем в этой главе, можно проверить. Ранее уже говорилось, что относительные амплитуды вероятности не имеют значения для радикально различающихся вселенных, например таких, у которых другое число больших пространственных измерений. Однако относительные амплитуды вероятности для соседних (то есть похожих) вселенных важны. Условие безграничности предполагает, что амплитуда вероятности наиболее велика для тех историй, в которых вселенная начинается абсолютно однородной. Для более неоднородных вселенных амплитуда уменьшается. Это означает, что ранняя вселенная была почти равномерной, но с небольшими неоднородностями. Мы уже отмечали, что эти неоднородности можно наблюдать как небольшие отклонения от фоновой величины микроволнового излучения, приходящего с различных направлений неба. Было обнаружено, что эти отклонения точно согласуются с общими требованиями инфляционной теории.

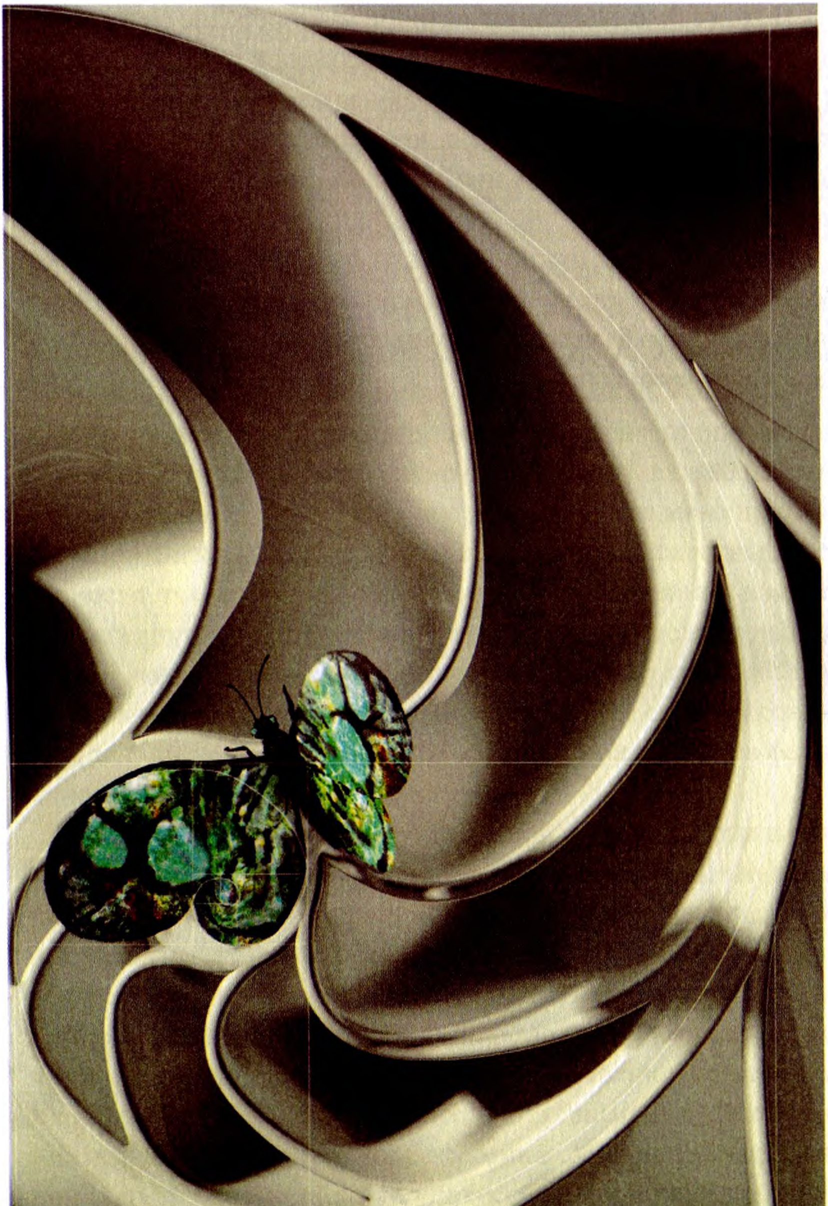
Однако нужны более точные измерения, чтобы полностью обособить теорию «сверху вниз» от других и либо подтвердить ее, либо от нее отказаться. Мы надеемся, что такие измерения в будущем смогут провести со спутников.

Сотни лет назад люди думали, что Земля уникальна и расположена в центре Вселенной. Сегодня мы знаем, что только в нашей Галактике сотни миллиардов звезд и у многих из них имеются планетные системы. Кроме нашей есть еще сотни миллиардов галактик. Выводы, описанные в этой главе, указывают, что сама наша Вселенная только одна из многих и что действующие в ней очевидные законы не являются определенными раз и навсегда. Это должно разочаровать тех, кто надеялся, что окончательная теория, теория всего, определит природу обычной физики. Мы не можем предсказать дискретные особенности, такие как число больших пространственных измерений или внутреннее пространство, которые определяют наблюдаемые нами физические величины, например массу и заряд электрона и других элементарных частиц. Мы скорее используем эти числа, чтобы выяснить, какие истории вошли в фейнмановскую сумму.

Похоже, мы находимся в критической точке в истории науки, и нам следует изменить наше понимание целей и того, что делает физическую теорию приемлемой. Кажется, что фундаментальные числа и даже форма очевидных законов природы не вызваны логикой или физическими принципами. Параметры могут принять разные значения, а законы — любую форму, которая приводит к внутренне непротиворечивой математической теории, и в иных вселенных они действительно принимают другие значения и другие формы. Это может противоречить нашему привычному стремлению казаться чем-то особенным или желанию открыть четкий набор всех законов физики, но природа, пожалуй, устроена именно таким образом.

Похоже, что существует великое разнообразие возможных типов вселенных. Как мы увидим в следующей главе, вселенных, в которых может быть жизнь, подобная нашей, очень мало. Мы живем в одной из тех, где жизнь возможна, но если бы наша Вселенная была хоть чуточку иной, то существа, подобные нам, не могли бы в ней жить.

Какой же вывод нужно сделать из «точной настройки» нашей Вселенной? Служит ли это доказательством того, что она была спроектирована благожелательным создателем? Или наука предлагает другое объяснение?

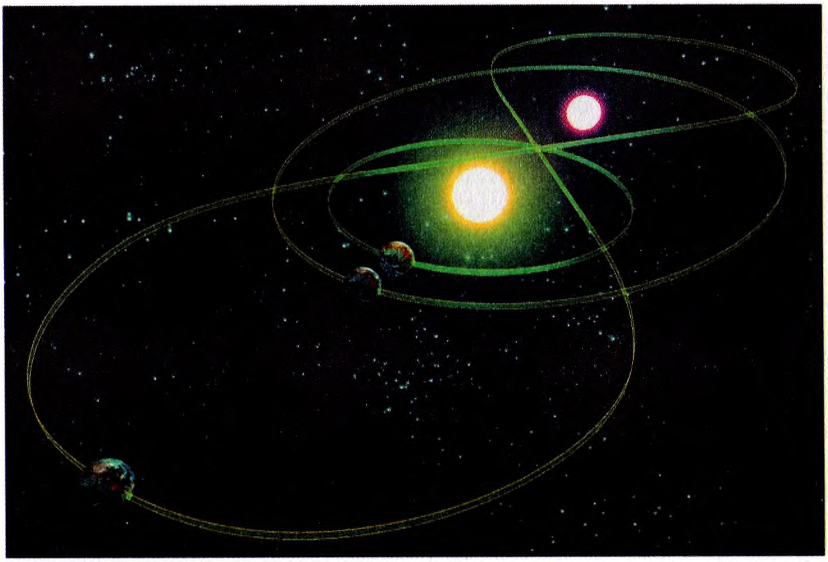


7

КАЖУЩЕЕСЯ ЧУДО

КИТАЙСКАЯ ЛЕГЕНДА ПОВЕСТВУЕТ о времени в период династии Ся (ок. 2205 — ок. 1782 до н. э.), когда мир вокруг нашей планеты внезапно преобразился. На небе появилось десять солнц. Люди на земле сильно страдали от жары, потому император повелел знаменитому лучнику сбить стрелами лишние светила. Лучник был вознагражден снадобьем, которое могло сделать его бессмертным, но жена похитила у него этот эликсир жизни, за что была отправлена в изгнание на луну.

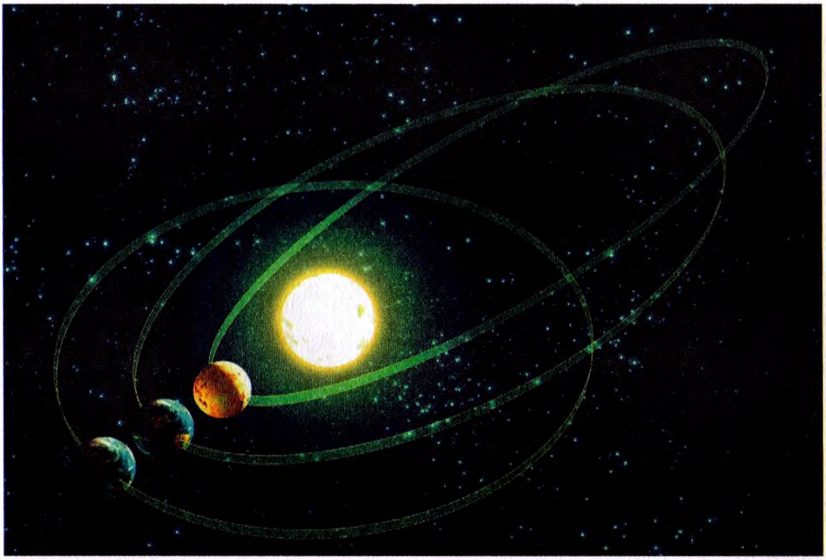
Китайцы справедливо полагали, что Солнечная система, в которой десять светил, неблагоприятна для человеческой жизни. Сегодня мы знаем, что, несмотря на прекрасные условия для загара, жизнь, вероятно, никогда не получила бы развития ни в одной из систем с несколькими солнцами. Причины этого были бы не столь простыми, как испепеляющая жара, о которой говорится в китайской легенде. Правда, планеты, которые вращаются сразу вокруг нескольких звезд, могут обладать нормальной температурой, по крайней мере какое-то время. Но равномерный обогрев в течение длительного времени, необходимый для жизни, был бы маловероятен. Чтобы понять, почему это



Планетные орбиты вокруг двойных звезд. На планетах в двойных звездных системах условия для жизни, вероятно, неподходящие: в какие-то сезоны там слишком жарко, а в какие-то — слишком холодно.

так, рассмотрим, что происходит с простейшей из многозвездных систем, которая состоит из двух звезд и называется двойной звездой. Примерно половина всех звезд на небе входит именно в такие образования. Но даже в этих простейших системах двойных звезд могут существовать лишь определенные типы стабильных планетных орбит, вид которых показан на иллюстрации выше. На каждой из этих орбит, вероятно, имеются участки, на которых планета становится слишком горячей или слишком холодной, для того чтобы на ней могла поддерживаться жизнь. В системах, где звезд больше, ситуация еще хуже.

Условия в нашей Солнечной системе другие, удачные, без них сложные формы жизни не могли бы развиться. Например, в соответствии с законами Ньютона орбиты планет могут быть либо



Эксцентриситеты. Эксцентриситет — это показатель того, насколько эллипс близок к окружности. Круговые орбиты благоприятны для жизни, а сильно вытянутые орбиты приводят к большим сезонным колебаниям температуры.

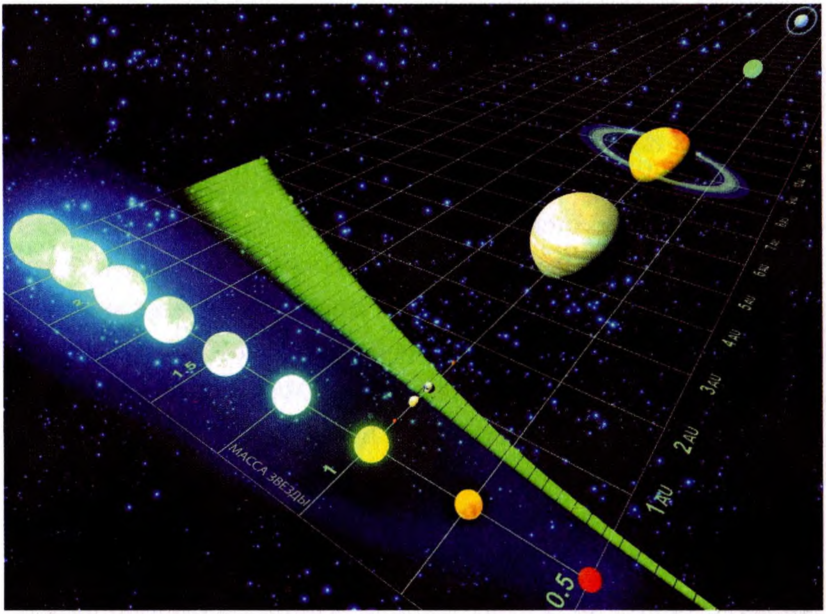
кругами, либо эллипсами. Эллипс — это сплюснутая окружность, он более широкий, чем окружность, по одной оси и более узкий — по другой. Степень сплюснутости эллипса описывается так называемым эксцентриситетом — числом от нуля до единицы. Эксцентриситет, близкий к нулю, означает фигуру, близкую к окружности, а эксцентриситет, близкий к единице, — очень сплюснутую фигуру. Кеплер был огорчен, обнаружив, что планеты движутся не по идеальным окружностям, но орбита Земли имеет эксцентриситет около двух процентов, то есть представляет собой почти окружность. Как оказалось, это большое везение.

Сезонные особенности погоды на Земле определяются в основном наклоном оси вращения Земли к плоскости ее орбиты вокруг Солнца. Например, когда в Северном полушарии зима, то

Северный полюс наклонен в сторону, противоположную Солнцу. То, что Земля в это время находится на минимальном расстоянии от Солнца — всего в 91,5 миллиона миль, в отличие примерно от 94,5 миллиона миль в начале июля, — оказывает совсем незначительное влияние на температуру по сравнению с влиянием наклона оси. Но на планетах с большим эксцентриситетом орбиты изменение расстояния от Солнца играет гораздо большую роль. Например, на Меркурии, эксцентриситет орбиты которого 20%, температура более чем на 200 градусов по Фаренгейту выше в тот период, когда планета ближе всего к Солнцу (в перигелии), чем когда она удалена на максимальное расстояние от Солнца (в афелии). Если бы эксцентриситет земной орбиты был около единицы, наши океаны закипали бы при достижении Землей ближайшей к Солнцу точки и замерзали бы при нашем удалении на максимальное расстояние, что делало бы и зимние, и летние отпуска не очень приятными. Орбиты с большими эксцентриситетами не способствуют жизни, поэтому нам повезло оказаться на планете, у которой эксцентриситет орбиты близок к нулю.

Нам также повезло с отношением массы нашего Солнца к расстоянию от него до Земли, поскольку масса звезды определяет количество отдаваемой ею энергии. У самых больших звезд масса примерно в сто раз больше, чем у нашего Солнца, а у самых маленьких — примерно в сто раз меньше. И все же при данном расстоянии от Солнца до Земли, окажись масса Солнца на 20% меньше или больше, на Земле было бы соответственно или холоднее, чем сейчас на Марсе, или жарче, чем сейчас на Венере.

Обычно для любой звезды ученые определяют так называемую «зону обитания» — узкую область вокруг звезды, где температура допускает существование воды в жидком состоянии. Эту пригодную для жизни зону иногда называют зоной Златовласки, так как требование о наличии жидкой воды означает, что для развития разумной жизни необходимо, чтобы темпера-



Зона Златовласки. Если бы Златовласка делала выбор между планетами, она бы обнаружила, что для жизни пригодны только те, которые находятся в зеленой зоне. Желтая звезда изображает наше Солнце. Более светлые звезды крупнее его и горячее, более красные — меньше и холоднее. Планеты, расположенные к своим солнцам ближе, чем зеленая зона, слишком горячие для жизни, а планеты по другую сторону зеленой зоны — слишком холодные. Чем холоднее звезда, тем меньше пригодна для жизни зона.

туры на планете были, говоря словами Златовласки, «в самый раз»[1]. В нашей Солнечной системе зона обитания просто крошечная (см. ил. выше). К счастью для тех, кто относится к формам разумной жизни, Земля попала в ее пределы!

---

[1] Имеется в виду популярная английская сказка «Златовласка и три медведя» (ее в сокращении пересказал Л. Н. Толстой) о девочке, попавшей в домик медведей, где было по три вещи разного качества или размера: миски с кашей, стулья, кровати. Две вещи из каждой тройки ей почему-либо не подходили (например, в одной миске каша была слишком горячей, в другой — чересчур холодной), а вот третья вещь всегда оказывалась «в самый раз». – *Науч. ред.*

Ньютон полагал, что наша странным образом пригодная для жизни Солнечная система «не возникла из хаоса всего лишь по законам природы». Он утверждал, что порядок во Вселенной был «первоначально создан Богом и сохранен им по сей день в том же состоянии и форме». Легко понять, почему можно было так подумать. Множество невероятных случайностей, которые совпали, сделав возможным наше существование и благоприятное для нас устройство мира, действительно вызывали бы недоумение, если бы наша Солнечная система была единственной в своем роде во Вселенной. Но в 1992 году произошло первое достоверное наблюдение планеты, вращающейся вокруг другой звезды. Теперь известно о сотнях таких планет, и мало кто сомневается, что среди миллиардов звезд в нашей Вселенной их бесчисленное множество. Это делает совпадение условий на нашей планете — единственное солнце, удачное сочетание его массы с расстоянием от него до Земли — намного менее любопытным и намного менее убедительным в качестве свидетельства тщательного проектирования Земли с тем лишь, чтобы угодить нам, человеческим существам. Есть планеты разных типов, а некоторые — по крайней мере одна — оказались пригодны для жизни, и когда существа на пригодной для жизни планете изучают окружающий их мир, они непременно обнаружат, что их планета соответствует тем условиям, которые необходимы для их существования.

Последнее утверждение можно превратить в научный принцип: само наше существование диктует правила, определяющие, откуда и когда мы можем наблюдать Вселенную. То есть сам факт нашего существования ограничивает характеристики окружения, в котором мы находимся. Этот принцип называют слабым антропным принципом. (Вскоре мы увидим, почему добавлено прилагательное «слабый».) Вместо «антропный принцип» лучше

было бы говорить «принцип отбора», поскольку он связан с тем, как наше собственное знание о нашем существовании диктует правила, которые выбирают из всех возможных окружающих условий только те, которые позволяют существование жизни.

Хоть это и звучит несколько философски, слабый антропный принцип можно использовать для научных предсказаний (например, относительно возраста Вселенной). Как мы вскоре увидим, чтобы было возможно наше существование, Вселенная должна содержать такие химические элементы, как углерод, который образуется из более легких элементов внутри звезд. Потом углерод должен был рассеяться в пространстве взрывом сверхновой звезды и в конечном счете сконденсироваться как часть планеты при рождении новой солнечной системы. В 1961 году американский физик Роберт Дикке (1916–1997) дал обоснование того, что этот процесс занимает около 10 миллиардов лет, так что наше присутствие здесь означает, что Вселенная должна быть по меньшей мере такого возраста. С другой стороны, возраст Вселенной не может быть намного больше чем 10 миллиардов лет, поскольку в далеком будущем все топливо для звезд израсходуется, а нам для поддержания жизни требуются горячие звезды. Следовательно, Вселенной должно быть около 10 миллиардов лет. Это прогноз не очень точный, но верный, ведь согласно последним данным, Большой взрыв произошел примерно 13,7 миллиарда лет назад.

Как и в случае с определением возраста Вселенной, антропные предсказания обычно дают лишь диапазон значений для каждого физического параметра, но не указывают точной величины. Это потому, что наше существование часто зависит от параметров, не слишком сильно отличающихся от тех значений, которые обычно наблюдаются, хотя для какого-либо физического параметра может и не требоваться очень точного значения. К тому же мы надеемся, что нынешние условия в нашем мире типичны

в пределах диапазона, допустимого с антропной точки зрения. Например, если лишь умеренные эксцентриситеты орбит — скажем, от 0 до 0,5 — позволяют существование жизни, то эксцентриситет 0,1 не должен удивлять нас, так как вполне вероятно, что орбиты весьма значительной части планет во Вселенной обладают столь же малым эксцентриситетом. Но если бы оказалось, что Земля движется по почти идеальной окружности с эксцентриситетом, скажем, 0,000 000 000 01, это сделало бы ее действительно совершенно особой планетой, и мы были бы вынуждены пытаться объяснить, почему мы оказались в таком аномальном месте. Эту идею (о том, что ни Земля, ни люди на ней не являются чем-то особенным во Вселенной. — *Науч. ред.*) иногда называют принципом заурядности.

Удачные совпадения, связанные с формой планетных орбит, массой Солнца и т. д., называются совпадениями внешней среды, поскольку они проистекают из интуитивной прозорливости окружающего нас мира, а не из счастливой случайности, связанной с фундаментальными законами природы. Возраст Вселенной тоже фактор, относящийся к внешней среде, поскольку в истории Вселенной было более раннее и будет более позднее время, но мы должны жить в нынешнюю эру, поскольку это единственная эра, способствующая жизни. Совпадения внешней среды легко понять, так как место нашего обитания лишь одно среди многих, имеющихся во Вселенной, и мы, очевидно, должны существовать в таком, которое способствует поддержанию жизни.

Слабый антропный принцип не вызывает особых споров. Но есть более сильная форма, которую мы здесь обсудим, хотя некоторые физики относятся к ней с пренебрежением. Сильный антропный принцип предполагает, что сам факт нашего существования налагает ограничения не только на нашу *окружающую среду*, но и на возможные *форму и содержание самих законов при-*

роды. Такая идея возникла оттого, что для развития человеческой жизни удивительно подошли не только особые характеристики нашей Солнечной системы, но также и характеристики всей нашей Вселенной, а это объяснить уже гораздо труднее.

Повествование о том, как изначальная Вселенная, состоявшая из водорода, гелия и небольшого количества лития, развилась во Вселенную, давшую приют по крайней мере одному — нашему — миру с разумной жизнью, представляет собой историю из многих глав. Как мы уже говорили, природные силы должны были быть такими, чтобы более тяжелые химические элементы, особенно углерод, могли производиться из первичных элементов и оставаться стабильными по крайней мере миллиарды лет. Эти тяжелые элементы были созданы в печах, которые мы называем звездами, следовательно, природные силы должны были позволить сначала сформироваться звездам и галактикам. Они выросли из семян крохотных неоднородностей в ранней Вселенной, которая была почти полностью однородна, но, к счастью, в ней имелись отклонения в плотности (примерно 1 частица на 100 000). Однако существования звезд и наличия внутри них тех химических элементов, из которых мы сделаны, недостаточно. Движущие силы внутри звезд должны были быть таковы, чтобы некоторые из звезд в конце концов взорвались, — более того, взорвались именно так, чтобы разбросать более тяжелые элементы по широкому пространству. Вдобавок законы природы должны были обеспечить, чтобы эти остатки смогли еще раз сконденсироваться в новое поколение звезд, окруженных планетами, вобравшими в себя эти заново созданные тяжелые элементы. Так же, как определенные события на ранней Земле должны были произойти в том порядке, который позволил бы развиться нам, должно было быть и в каждом звене этой цепи, необходимой для нашего существования. Но события, которые привели к развитию Вселенной, управлялись балансом

фундаментальных природных взаимодействий, слаженность которых должна была быть именно такой, чтобы мы могли существовать.

Британский астроном Фред Хойл (1915–2001) стал одним из первых, кто в 1950-х годах осознал, что здесь не обошлось без изрядной доли счастливой случайности. Хойл полагал, что все химические элементы первоначально образовались из водорода, который, как он считал, и представляет собой исходную субстанцию. Атом водорода имеет простейшее ядро, которое состоит лишь из одного протона — либо одиночного, либо в сочетании с одним или двумя нейтронами. (Различные формы водородного или любого другого атомного ядра, имеющие одинаковое число протонов, но разное число нейтронов, называются изотопами.) Сегодня мы знаем, что гелий и литий, атомные ядра которых содержат два и три протона соответственно, тоже были изначально синтезированы в очень малых количествах, когда возраст Вселенной был около 200 секунд. Однако жизнь зависит от более сложных химических элементов, самый важный из которых — углерод, основа всей органической химии.

Можно, конечно, причислить к «живым» организмам умные компьютеры, сделанные из других элементов, таких как кремний, но сомнительно, чтобы жизнь могла *самопроизвольно* развиться, если бы отсутствовал углерод. Причины этого технические, но имеют отношение к уникальному способу, которым углерод соединяется с другими химическими элементами. Например, диоксид углерода CO_2 при комнатной температуре представляет собой углекислый газ, весьма полезный для биологических процессов. Кремний — это элемент, расположенный в Периодической таблице химических элементов непосредственно под углеродом, поэтому он имеет сходные химические свойства. Однако диоксид кремния SiO_2, кварц, гораздо полезнее в коллекции минералов, чем в легких живых орга-

низмов. И все-таки, возможно, могли бы появиться какие-то формы жизни, которые питались бы кремнием и ритмично виляли бы хвостами в лужах жидкого аммиака. Но даже такой тип экзотической жизни не мог развиться из одних лишь первоначальных элементов, поскольку из них возможно формирование только двух устойчивых соединений — гидрида лития LiH (бесцветное твердое кристаллическое вещество) и газообразного водорода H_2, — которые не способны не только ничего произвести, но даже влюбиться. Так что факт остается фактом: *мы* представляем собой углеродную форму жизни, и это порождает вопрос: откуда взялся углерод, в атомных ядрах которого шесть протонов, а также прочие тяжелые химические элементы, составляющие наше тело?

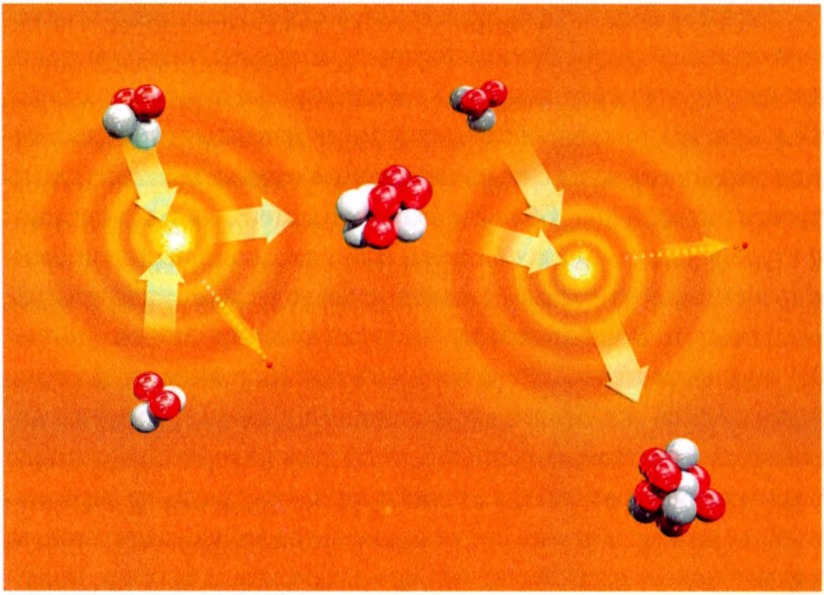
Первый шаг к появлению этих элементов был сделан, когда более старые звезды начали накапливать гелий, получающийся при столкновении двух водородных ядер и происходящем затем их слиянии друг с другом. Это совершается в недрах звезд, и таким образом создается энергия, которая нас согревает. Два атома гелия, в свою очередь, тоже могут столкнуться и образовать атом бериллия с четырьмя протонами в ядре. Когда же появился бериллий, он вполне мог бы слиться с третьим ядром гелия, создав углерод. Но этого не происходит, так как получившийся изотоп бериллия почти сразу же снова распадается на два ядра гелия.

Картина меняется, когда у звезды начинает заканчиваться водород. Когда это происходит, ядро звезды сжимается до тех пор, пока температура в его центре не достигнет примерно ста миллионов градусов Кельвина. При этих условиях ядра атомов сталкиваются друг с другом столь часто, что некоторые ядра бериллия, еще не успев распасться, встречаются с ядрами гелия. Тогда бериллий может слиться с гелием и образовать стабильный изотоп углерода. Но этому углероду предстоит еще долгий путь, чтобы

сформировать упорядоченные структуры химических соединений такого типа, которые могли бы наслаждаться бокалом бордо, жонглировать горящими факелами или задаваться вопросами о Вселенной. Для существования таких созданий, как люди, углерод должен переместиться из недр звезд в более благоприятные места. Это происходит, как мы уже сказали, когда звезда в конце своего жизненного цикла взрывается как сверхновая, выбрасывая углерод и другие тяжелые элементы, которые потом конденсируются в планеты.

Этот процесс создания углерода называется тройным альфа-процессом (или тройной гелиевой реакцией), поскольку альфа-частица — другое название ядра изотопа гелия, участвующего в этом процессе, а для того чтобы реакция произошла, требуется слияние трех из них. В соответствии с обычной физикой скорость образования углерода в тройном альфа-процессе должна быть очень низкой. Отмечая это, в 1952 году Хойл предсказал, что суммарная энергия бериллия и ядра гелия должна быть почти в точности равна энергии определенного квантового состояния образовавшегося изотопа углерода. Такое явление, называемое ядерным резонансом, многократно ускоряет процесс ядерной реакции. В то время подобный уровень энергии был неизвестен, но, основываясь на предположении Хойла, американский астрофизик Уильям Фаулер (1911–1995) из Калифорнийского технологического института стал искать и нашел его, обеспечив важную поддержку взглядам Хойла на то, как были созданы сложные ядра.

Хойл писал: «Я не верю, что любой ученый, исследующий факты, будет не в состоянии сделать вывод о том, что законы ядерной физики были сознательно разработаны применительно к последствиям того, что они вызывают внутри звезд». В то время никто не знал ядерную физику достаточно хорошо, для того чтобы понять, сколь велика была интуитивная прозорливость, приведшая к этим точным физическим законам. Но исследуя



Тройной альфа-процесс. Углерод образуется в недрах звезд при столкновении трех ядер гелия. Такое событие было бы весьма маловероятным, если бы не особенность законов ядерной физики.

правомерность сильного антропного принципа, физики в последние годы начали задаваться вопросом, как выглядела бы Вселенная, если бы законы природы были иными. Сегодня мы можем создать компьютерные модели, которые говорят нам о зависимости скорости тройного альфа-процесса от величины фундаментальных взаимодействий (сил) в природе. Такие вычисления показывают, что при изменении величины сильного ядерного взаимодействия всего на 0,5% или электромагнитной силы на 4% во всех звездах был бы разрушен почти весь углерод либо же весь кислород, а следовательно, утратилась бы возможность возникновения жизни в том виде, какой известен нам. Измените законы нашей Вселенной лишь на самую малость, и условия для нашего существования пропадут!

Рассматривая модель вселенных, которую мы создали, изменив определенным образом физические теории, можно методическим путем изучить эффект изменений физического закона. Оказывается, по индивидуальному заказу для нашего существования созданы не только сильные ядерные взаимодействия и электромагнитная сила. Большинство фундаментальных констант, фигурирующих в наших теориях, выглядят точно настроенными в том смысле, что если изменить их на совсем незначительные величины, то Вселенная была бы качественно другой и во многих случаях непригодной для развития жизни. Например, если другая ядерная сила — слабое ядерное взаимодействие — была бы намного слабее, то в ранней Вселенной весь водород, имевшийся в космосе, превратился бы в гелий, и потому не было бы нормальных звезд; а если эта же сила оказалась бы намного сильнее, то взрывающиеся сверхновые звезды не сбрасывали бы свою внешнюю оболочку и таким образом не могли бы засеивать межзвездное пространство тяжелыми химическими элементами, которые требуются планетам для создания жизни. Будь протоны на 0,2% тяжелее, они распадались бы на нейтроны, дестабилизируя атомы. Если бы суммарная масса тех «сортов» (или, как говорят физики, «ароматов») кварков, из которых состоят протоны, изменилась всего на 10%, то было бы гораздо меньше стабильных атомных ядер, из которых мы сделаны. Фактически же суммарные массы кварков выглядят примерно оптимальными для существования наибольшего числа стабильных ядер.

Если предположить, что для развития жизни на планете необходимо, чтобы несколько сотен миллионов лет планета находилась на стабильной орбите, то количество пространственных измерений также установлено нашим существованием. Это потому, что, согласно законам гравитации, устойчивые эллиптические орбиты возможны только при трех пространственных измерениях. Круговые орбиты возможны и в других измерениях, но

они, как и опасался Ньютон, нестабильны. В любом пространстве, кроме трехмерного, даже малое возмущение, такое как притяжение других планет, сместит планету с круговой орбиты и приведет к движению по спирали либо в сторону Солнца, либо в противоположном направлении, так что мы или сгорим, или замерзнем. Кроме того, там, где более трех пространственных измерений, гравитационная сила между двумя телами будет убывать быстрее, чем в трех измерениях. В трехмерном пространстве сила гравитации уменьшается до 1/4 своей величины при удвоении расстояния. В четырехмерном она бы уменьшалась до 1/8, а в пятимерном — до 1/16 и т. д. В результате при более чем трех пространственных измерениях Солнце не смогло бы находиться в устойчивом состоянии, уравновешивая своим внутренним давлением гравитационное притяжение. Оно либо распалось бы на части, либо сжалось бы, образовав черную дыру, — в любом случае ваш день был бы испорчен. На атомном уровне электрические силы вели бы себя так же, как гравитационные. Это означает, что электроны в атомах или вырвались бы наружу, или упали бы на ядро. В обоих случаях существование атомов такими, как мы их знаем, было бы невозможно.

Появление сложных структур, способных обеспечить существование разумных наблюдателей, кажется очень сомнительным. Законы природы формируют крайне тонко настроенную систему, и очень мало что в физическом законе может быть изменено без уничтожения возможности для развития известной нам формы жизни. Если бы не ряд удивительных совпадений в точных деталях физических законов, то, похоже, люди и сходные с ними формы жизни никогда бы не появились.

Наиболее впечатляющее совпадение в тонкой настройке связано с так называемой космологической постоянной в уравнениях общей теории относительности Эйнштейна. Как мы уже говорили, в 1915 году, когда была сформулирована эта теория,

Эйнштейн считал, что Вселенная статична, то есть она не расширяется и не сжимается. Поскольку все материальные образования притягиваются друг к другу, он ввел в свою теорию новую силу — антигравитацию, — чтобы компенсировать стремление Вселенной к сжатию. Эта сила, в отличие от прочих, не исходила ни из какого источника, а была встроена в саму ткань пространства-времени. Величину этой силы и описывает космологическая постоянная.

Когда было обнаружено, что Вселенная нестатична, Эйнштейн исключил космологическую постоянную из своей теории и назвал ее величайшей ошибкой своей жизни. Но в 1998 году при наблюдениях очень удаленной сверхновой звезды было обнаружено, что Вселенная расширяется с ускорением, — этот эффект невозможен без какой-то отталкивающей силы, действующей по всему пространству. Космологическую постоянную возродили. Поскольку теперь мы знаем, что ее значение отлично от нуля, остается открытым вопрос, почему у нее именно такое значение. Физики придумали аргументы, объясняющие, как она могла возникнуть благодаря эффектам квантовой механики, но величина, рассчитанная ими примерно на 120 порядков (единица со 120 нулями), превышает действительную, полученную при наблюдениях сверхновой звезды. Это означает, что либо рассуждение, на котором основан расчет, было неверным, либо существует еще какое-то явление, которое чудесным образом уничтожает практически всю рассчитанную величину, оставляя лишь ее невообразимо малую долю. Ясно одно: если бы значение космологической постоянной было гораздо больше, чем оно есть, то наша Вселенная разлетелась бы в стороны еще до того, как успели образоваться галактики, и — снова о том же — жизнь, какой мы ее знаем, была бы невозможна.

Что мы можем заключить из этих совпадений? Удача в точной форме и сути фундаментального физического закона — это дру-

гой вид удачи, отличающийся от того, который мы встречаем в факторах окружающей среды. Ее нелегко объяснить, и она имеет гораздо более глубокие последствия для физики и философии. Наша Вселенная и ее законы выглядят так, словно они сделаны на заказ по проекту, разработанному специально для нас, а раз уж нам дано существовать, то они оставляют мало места для каких-либо изменений. Это нелегко объяснить, и возникает естественный вопрос: почему же это так?

Многим хотелось бы, чтобы мы использовали эти совпадения как свидетельство деятельности Бога. Мысль о том, что Вселенная была задумана, чтобы поселить в ней людей, появилась в теологии и мифологии тысячи лет назад и существует до наших дней. У индейцев майя в эпосе «Пополь-Вух» боги провозгласили: «Но нет ни славы, ни величия в этом нашем творении, в нашем создании, пока не будет создано человеческое существо, пока не будет сотворен человек!»[1] В египетском тексте, который относится к 2000 г. до н. э., сказано: «Люди, божья скотина, получили хорошие дары. Он [бог солнца] создал небо и землю для их пользы». В Китае даосский философ Ле Юйкоу (ок. 400 г. до н. э.) выразил похожую мысль словами сказочного персонажа: «Благодаря небесам произрастает пять видов зерна, небесами нам даны твари с плавниками и твари с перьями — все это для нашей пользы».

В западной культуре идея о ниспосланном свыше замысле появилась в Ветхом Завете, в Книге Бытия, рассказывающей о сотворении мира, но на традиционную христианскую точку зрения большое влияние оказали более ранние воззрения Аристотеля, верившего «в разумный природный мир, функционирующий согласно некоему тщательно разработанному плану». Средневековый христианский теолог Фома Аквинский бытие

[1] Перевод с языка киче Р. В. Кинжалова.

Бога объяснял, опираясь на идеи Аристотеля о порядке в природе. В XVIII веке некий христианский теолог в своих рассуждениях дошел до того, что заявил, будто у кроликов хвосты белые, чтобы нам было удобнее в них стрелять. Более современную христианскую точку зрения высказал несколько лет назад кардинал Кристоф Шёнборн, архиепископ Вены: «Теперь, в начале XXI столетия, столкнувшись с такими научными нововведениями, как неодарвинизм и космологическая гипотеза о мультивселенной [множественности вселенных], придуманными, чтобы оспорить неопровержимое свидетельство цели и замысла, найденное современной наукой, католическая церковь вновь будет защищать человеческую природу, провозглашая, что внутренний, неотъемлемый замысел в природе реально существует». В космологии неопровержимым свидетельством цели и замысла, упомянутых кардиналом, является точная настройка физических законов, о которой мы говорили выше.

Поворотной точкой в научном отрицании антропоцентрической Вселенной явилась модель Солнечной системы Коперника, в которой Земля больше не занимала центрального положения. Ирония заключается в том, что сам Коперник видел мир антропоморфным до такой степени, что утешал нас, указывая, будто, несмотря на его гелиоцентрическую модель, Земля находится *почти* в центре Вселенной: «Хотя [Земля] находится не в центре мира, тем не менее расстояние [до его центра] ничтожно, особенно по сравнению с расстоянием до неподвижных звезд». С изобретением телескопа, наблюдения, сделанные в XVII веке, например открытие того, что спутник есть не только у нашей планеты, добавили веса коперниковскому принципу, гласящему, что мы не занимаем привилегированного положения во Вселенной. И чем больше мы узнавали о Вселенной в последующие века, тем больше наша планета становилась в нашем представлении лишь одной из многих. Но сравнительно недавнее открытие особо точ-

ной настройки столь многих законов природы могло бы увести (по крайней мере, некоторых из нас) назад, к старой идее о том, что этот великий проект — дело рук некоего великого Проектировщика. В США, где конституция запрещает преподавание религии в школах, подобную идею именуют «рациональным проектированием», не называя, но подразумевая, что проектировщик — Бог.

Такой ответ не устраивает современную науку. В главе 5 мы уже говорили о том, что наша Вселенная, видимо, одна из многих, и у каждой из них — свои законы. Эта идея о мультивселенной не была изобретена специально для объяснения чуда точной настройки. Она, подобно множеству других теорий современной космологии, проистекает из условия безграничности. Если это так, то она уменьшает сильный антропный принцип до слабого, помещая точные настройки физических законов на один фундамент с факторами внешней среды, поскольку это означает, что место нашего обитания в космосе — а теперь уже вся обозримая Вселенная — является лишь одним из многих, подобно тому как и наша Солнечная система лишь одна из многих. Это означает, что как совпадения факторов внешней среды для нашей Солнечной системы не представляют собой ничего особенного, поскольку существуют миллиарды подобных систем, так и точная настройка законов природы может быть объяснена существованием множества вселенных. Люди веками связывали с Богом красоту и сложность природы, которые в прошлые времена считались не имеющими научного объяснения. Но как британские натуралисты Чарлз Дарвин (1809–1882) и Алфред Уоллес (1823–1913) объяснили, каким образом кажущийся чудом замысел живых форм мог появиться без вмешательства высшего существа, так и концепция мультивселенной может объяснить точную настройку физических законов, избежав необходимости в благоволящем творце, который создал Вселенную ради нас.

Однажды Эйнштейн задал своему ассистенту, математику Эрнсту Штраусу (1922–1983), такой вопрос: «А был ли у Бога выбор, когда он создавал Вселенную?» В конце XVI века Кеплер был убежден, что Бог сотворил Вселенную в соответствии с неким совершенным математическим принципом. Ньютон показал, что законы, применимые к небесным телам, применимы и на Земле, и вывел математические уравнения для выражения этих законов. Уравнения оказались столь изящными, что вызвали почти религиозный трепет у многих ученых XVIII века, которые, похоже, были полны решимости использовать их как доказательство того, что Бог был математиком.

Начиная с Ньютона, а особенно после Эйнштейна цель физики состояла в том, чтобы найти простые математические принципы вроде тех, которые предполагались Кеплером, и с их помощью создать единую «теорию всего», которая бы всесторонне объяснила особенности материи и сил, наблюдаемых нами в природе. В XIX веке британский физик Джеймс Максвелл (1831–1879), а затем в начале XX века германский физик Альберт Эйнштейн (1879–1955) объединили теории электричества, магнетизма и света. В 70-х годах XX века была создана стандартная модель — единая теория сильных и слабых ядерных взаимодействий и электромагнитной силы. Затем из стремления охватить и оставшуюся силу — гравитацию — появились теория струн и М-теория. Их целью было найти не просто единую теорию, объясняющую все силы, но и теорию, объясняющую фундаментальные параметры, о которых мы говорили, такие как величина сил, а также массы и заряды элементарных частиц. Как выразился Эйнштейн, надежда состояла в том, чтобы сказать, что «природа настолько обусловлена законами, что можно логически вывести столь строго сформулированные законы, что в их пределах будут только рационально определенные константы (следовательно, не те константы, численное значение которых может

быть изменено, не нарушая теорию)». Уникальная теория вряд ли будет иметь ту точную настройку, которая позволяет нам существовать. Но если в свете последних достижений науки мы интерпретируем мечту Эйнштейна как мечту о единой теории, которая объясняет эту и другие вселенные с их полным спектром различных законов, то М-теория может быть таковой. Но уникальна ли М-теория, или же она вызвана каким-нибудь простым логическим принципом? Можем ли мы ответить на вопрос: *почему именно М-теория*?

8

ВЫСШИЙ ЗАМЫСЕЛ

в этой книге мы рассказали, как закономерности в движении астрономических тел, таких как Солнце, Луна и планеты, навели людей на мысль, что этим движением управляют незыблемые законы, а не прихоть и капризы богов и демонов. Сначала существование таких законов стало очевидным только в астрономии (или астрологии, что было практически тем же самым). Явления на Земле происходят настолько сложным образом и подвержены столь многим воздействиям, что древние цивилизации не могли разглядеть сколь-либо отчетливых закономерностей в процессах, управляющих этими явлениями. Однако постепенно новые законы были выявлены и в других областях, кроме астрономии, что привело к идее научного детерминизма: должен быть полный набор законов, которые, учитывая состояние Вселенной в определенное время, описали бы, как она будет развиваться впредь. Эти законы должны действовать везде и всегда, иначе они не будут законами. Не может быть никаких исключений или чудес. Ни боги, ни демоны не могут вмешиваться в ход развития Вселенной.

Во времена, когда принцип научного детерминизма был впервые предложен, единственными известными законами были Ньютоновы законы движения и гравитации. Мы уже говорили

о том, как эти законы расширил Эйнштейн в своей общей теории относительности и как были открыты другие законы, управляющие иными аспектами Вселенной.

Законы природы объясняют, *как* ведет себя Вселенная, но не отвечают на вопрос, который мы задали в начале книги: *почему* она проявляет себя именно так?

Почему есть что-то вместо того, чтобы не было ничего?
Почему мы существуем?
Почему существует именно этот конкретный набор законов, а не какой-либо другой?

Кто-то может считать, будто ответ на эти вопросы состоит в том, что есть Бог, который решил создать Вселенную именно таким образом. Резонно спросить: кем или чем создана Вселенная, но если ответ — Богом, то возникает другой вопрос: кто создал Бога? При такой точке зрения считается, что есть некая сущность, не нуждающаяся в творце, и ее называют Богом. Подобное мнение известно как основной аргумент в пользу бытия Бога. Однако мы утверждаем, что на эти вопросы можно ответить строго в рамках науки, без привлечения каких-либо сверхъестественных существ.

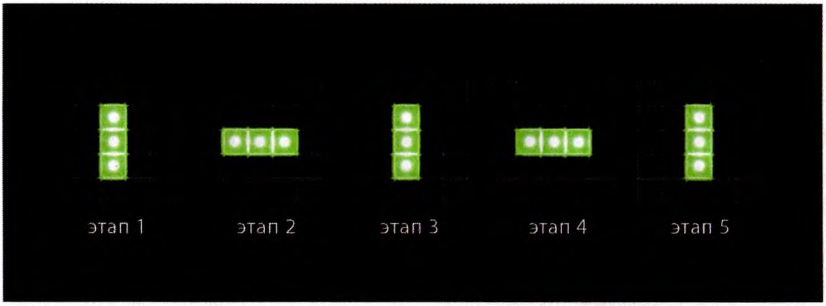
Согласно идее моделезависимого реализма, описанной в главе 3, наш мозг интерпретирует сигналы, поступающие от органов чувств, путем построения модели внешнего мира. Мы формируем мысленные представления о нашем доме, деревьях, других людях, об электричестве, поступающем из розеток, об атомах, молекулах и других вселенных. Эти мысленные построения и есть единственная реальность, которую мы можем знать. Никакой моделенезависимой проверки реальности нет. Следовательно, хорошо построенная модель создает собственную реальность. Обдумать вопросы реальности и творения нам может помочь пример с игрой «Жизнь», которую в 1970 году придумал молодой кембриджский математик Джон Конвей.

Слово «игра» в данном случае термин, сбивающий с толку. Здесь нет победителей и проигравших, фактически здесь вообще нет игроков. «Жизнь» по сути не игра, а набор законов, управляющих двухмерной вселенной. Это детерминированная вселенная: когда вы установили начальную конфигурацию, или начальное условие, то все, что будет происходить дальше, определяется законами.

Мир, придуманный Конвеем, представляет собой сеть квадратных клеток, похожую на шахматную доску, которая продолжается во все стороны бесконечно. Каждая клетка может быть либо «живой», либо «мертвой» (на иллюстрациях, помещенных далее, они показаны зеленым или черным цветом соответственно). У каждой клетки восемь соседей: сверху, снизу, слева, справа и четыре соседа по диагонали. Время в этом мире не непрерывно, а движется вперед дискретными шагами. Учитывая различное взаиморасположение мертвых и живых клеток, последующие события определяются количеством живых соседей в соответствии с такими законами:

1) Живая клетка с двумя или тремя живыми соседями остается жить (выживание).
2) Мертвая клетка с тремя живыми соседями оживает (рождение).
3) Во всех остальных случаях клетка умирает или остается мертвой. В случае если у живой клетки нет живых соседей или есть только один, она умирает от одиночества; если у нее больше трех живых соседей, она умирает от перенаселенности.

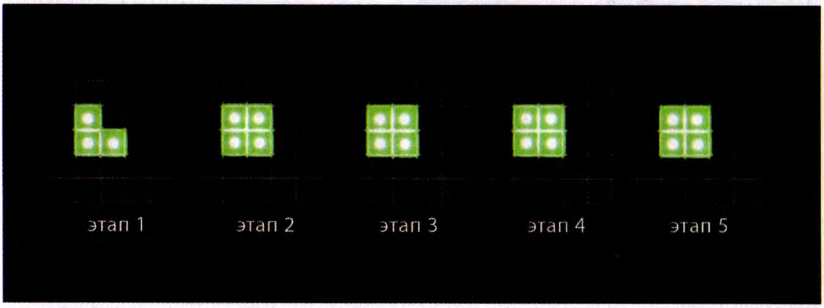
Посмотрим, как же все происходит: исходя из любого начального условия эти законы генерируют поколение за поколением. Изолированная живая клетка или две смежные живые клетки умирают в следующем поколении, потому что у них не хватает



«Мигалки». «Мигалки» — это простой тип составного объекта в игре «Жизнь».

соседей. Три живые клетки по диагонали живут чуть дольше. После первого временно́го шага (этапа) крайние клетки умирают, остается только средняя, которая умирает в следующем поколении. Таким же образом «испаряется» любая диагональная линия клеток. Но если три живые клетки расположены горизонтально в ряд, средняя из них имеет двух соседей и выживает, тогда как две крайние умирают, но в этом случае рождаются клетки, прилегающие к средней сверху и снизу. Таким образом ряд превращается в столбик. Подобным же образом в следующем поколении (то есть на следующем этапе) столбик опять превращается в ряд, и т. д. Такие колеблющиеся фигуры называются «мигалки».

Если три живые клетки расположены в виде буквы L, события идут по-другому. В следующем поколении клетка, которую огибает L, получает свое рождение, и возникает фигура, называющаяся «блок» (2 × 2 клетки). «Блоки» относятся к типу фигур, который называется «натюрморты» или «устойчивые фигуры», потому что они переходят из поколения в поколение не изменяясь. Существует много разных фигур, которые в начальных поколениях изменяются, но вскоре оказываются одним из видов «натюрморта», либо умирают, либо же возвращаются к своему первоначальному виду, а затем процесс повторяется.



Превращение в «натюрморт». Некоторые составные объекты в игре «Жизнь» развиваются в формы, которым правилами предписано никогда не изменяться.

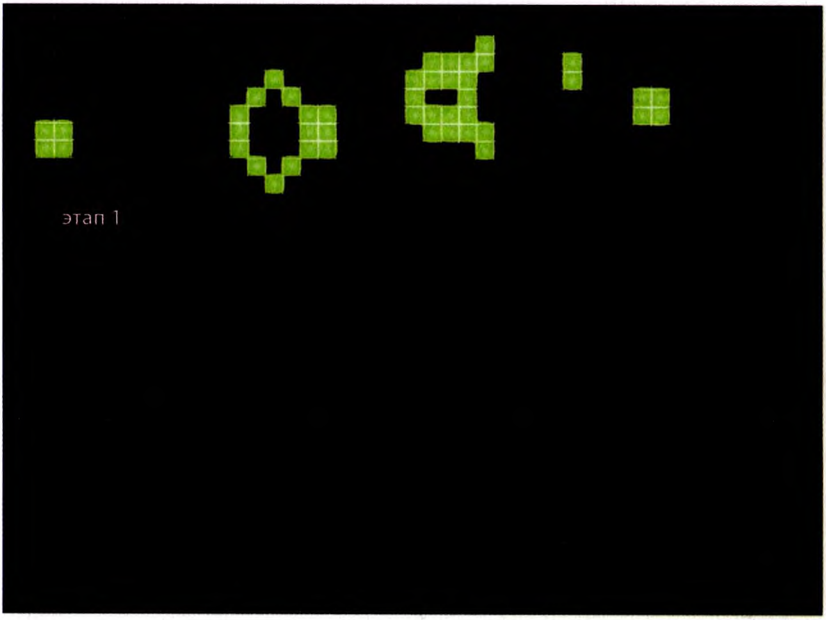
Существуют также фигуры, называемые «планеры» (или «глайдеры»), которые преобразуются в другие фигуры, а через несколько этапов (временны́х шагов) возвращаются к своему первоначальному виду, но сместившись на одну клетку вниз по диагонали. Если вы понаблюдаете за таким развитием какое-то время, то увидите, что «планеры» как будто ползут по сетке. Когда они сталкиваются, могут происходить любопытные преобразования, зависящие от формы каждого из «планеров» в момент столкновения.

«Планеры». «Планеры» преображаются, принимая промежуточные формы, а потом, сместившись по диагонали, возвращаются к первоначальной форме.

Интересной эту игровую вселенную делает то, что фундаментальная «физика» ее проста, а «химия» может оказаться сложной. Имеется в виду, что составные объекты в ней существуют в различных масштабах. В наименьшем масштабе фундаментальная физика игры говорит нам, что есть лишь живые и мертвые клетки. В более крупном масштабе имеются «планеры», «мигалки», а также «блоки» и другие устойчивые фигуры из группы «натюрмортов». С дальнейшим укрупнением масштаба появляются еще более сложные объекты, такие как «планерные ружья» — стационарные формы, периодически порождающие новые «планеры», которые покидают свое «гнездо» и устремляются вниз по диагонали.

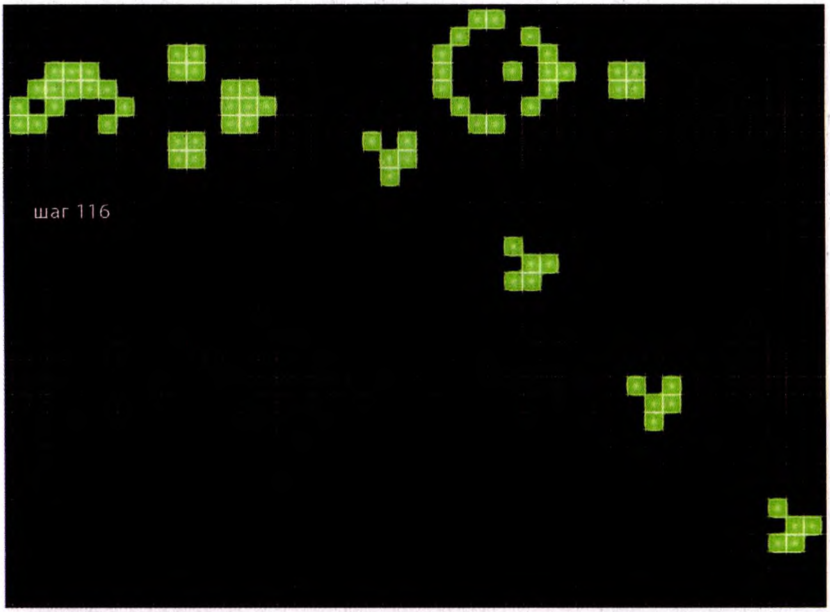
Если некоторое время понаблюдать за игрой «Жизнь» в каком-то одном масштабе, можно распознать законы, управляющие объектами этого масштаба. Например, среди фигур поперечником всего в несколько клеток вы сможете заметить такие законы, как «абсолютно неподвижные „блоки“», «„планеры“, движущиеся по диагонали», а также различные законы для случаев столкновения объектов. Вы можете создать всю физику для любого уровня составных объектов. Эти законы будут описывать сущности и понятия, которые отсутствовали в исходных законах. Там, например, не было таких понятий, как «столкновение» и «перемещение». Начальные законы определяли лишь «жизнь» и «смерть» отдельных неподвижных клеток. В игре «Жизнь», как и в нашей Вселенной, ваша реальность зависит от используемой вами модели.

Конвей и его студенты создали этот игровой мир, желая узнать, может ли вселенная, фундаментальные законы которой так же просты, как те, что установлены ими для этой игры, содержать объекты настолько сложные, что они смогут воспроизводить самих себя. Существуют ли в мире игры «Жизнь» такие составные объекты, которые, попросту следуя в течение нескольких поколений (т. е. временны́х шагов) исходным законам



Начальная конфигурация «планерного ружья». «Планерное ружье» примерно в десять раз больше «планера».

игры, породят другие объекты, подобные себе? Конвей и его студенты не только смогли продемонстрировать, что это возможно, но даже показали, что подобный объект может, в некотором смысле, быть умным! Что мы имеем в виду? Уточним: они показали, что огромные скопления клеток, которые самовоспроизводятся, представляют собой «универсальную машину Тьюринга». В нашем случае это означает, что (для любого расчета, с которым компьютер в нашем физическом мире может в принципе справиться) если на входе задать машине соответствующие данные, то есть снабдить ее условиями игры «Жизнь», то спустя несколько этапов работы машина окажется в том состоянии, когда можно будет увидеть, что́ получилось на выходе, — это будет соответствовать результатам данного компьютерного расчета.



«Планерное ружье» через 116 поколений (этапов). Со временем «планерное ружье» изменяет форму, испускает «планер» и возвращается к своим начальным конфигурации и положению. Затем оно повторяет процесс бесконечно.

Чтобы почувствовать, как это работает, рассмотрим, что происходит, когда «планеры» наталкиваются на простой «блок» живых клеток размером 2 × 2. Если «планеры» приближаются подходящим путем, то ранее неподвижный блок сдвинется либо к источнику «планеров», либо от него. Фактически все основные функции современного компьютера, такие как логические вентили И и ИЛИ, также могут быть созданы из «планеров». При таком подходе потоки «планеров» можно использовать для передачи и обработки информации, подобно тому как в физическом компьютере используются электрические сигналы. Как и в нашем мире, такие самовоспроизводящиеся фигуры являются сложными объектами. По одной из оценок, основанной на дав-

ней работе венгро-американского математика Джона фон Неймана (1903–1957), минимальный размер самовоспроизводящейся фигуры в игре «Жизнь» — десять триллионов клеток, что примерно равно количеству молекул в одной человеческой клетке.

Живые существа можно рассматривать как сложные системы ограниченного размера, которые стабильны и могут самовоспроизводиться. Описанные выше объекты удовлетворяют условию воспроизводства, но, вероятно, нестабильны: слабое возмущение извне вполне может разрушить чувствительный механизм. Однако легко представить себе, что немного усложненные законы позволят создать и более сложные системы со всеми признаками жизни. Представьте себе существо такого типа, объект в мире, подобном конвеевскому. Такой объект будет реагировать на воздействия окружающей среды и, следовательно, выглядеть принимающим решения. Будет ли такая жизнь знать о своем существовании? Будет ли она обладать самосознанием? Мнения по этому вопросу резко расходятся. Некоторые считают, что осознание своего существования присуще только людям. Это наделяет их свободой воли — способностью делать выбор между различными возможностями действий.

Как определить, обладает ли существо свободой воли? Если мы встретим инопланетянина, как распознать, робот это или существо, обладающее собственным разумом? Поведение робота будет полностью детерминировано, в отличие от разумного существа, обладающего свободой воли. Следовательно, в принципе робота можно будет определить по предсказуемости его действий. Но, как мы уже говорили в главе 2, это может оказаться трудным до невозможности, если существо крупное и сложно устроенное. Мы не можем точно решать даже уравнения для трех и более взаимодействующих друг с другом частиц. А поскольку инопланетянин размером с человека содержал бы около тысячи триллионов триллионов частиц, даже если бы он был роботом, то было бы невозможно решить урав-

нения и предсказать, что он будет делать. Поэтому мы должны сказать, что любое сложное существо обладает свободой воли, имея в виду, что это есть не его фундаментальное свойство, а лишь признание нашей неспособности произвести расчеты, которые позволили бы нам предсказать его действия.

Пример с конвеевской игрой «Жизнь» показывает, что даже очень простой набор законов может произвести сложные свойства, подобные тем, что присущи разумной жизни. Должно существовать много наборов законов, обладающих этим свойством. Что выбирает законы, управляющие нашей Вселенной? Так же, как и во вселенной Конвея, законы нашей Вселенной определяют развитие системы, учитывая ее состояние в любой момент. В мире Конвея творцами являемся мы — это мы выбираем начальное состояние вселенной, определяя объекты и их расположение в начале игры.

В нашей физической Вселенной аналогами таких объектов игры «Жизнь», как «планеры», выступают отдельные материальные тела. Любой набор законов, описывающих непрерывный мир, подобный нашему, будет иметь понятие энергии, которая сохраняет свое количество, то есть ее количество не изменяется со временем. Энергия пустого пространства будет постоянной, независимой ни от времени, ни от местонахождения. Измеряя энергию любого объема пространства относительно энергии того же объема пустого пространства, эту константу вакуума можно вычесть, поэтому мы вполне можем считать ее равной нулю. Есть условие, которому должны удовлетворять любые законы природы: они должны предписывать, чтобы энергия отдельного тела, окруженного пустым пространством, была положительной, то есть для создания тела нужно проделать работу. Поэтому, если энергия отдельного тела отрицательна, оно может быть создано в состоянии движения таким образом, чтобы его отрицательная энергия была точно уравновешена положительной энергией вследствие его движения. Будь это так, не было бы причины, пре-

пятствующей телам возникать где угодно. Пустое пространство было бы тогда нестабильным. Но если для создания отдельного тела нужно потратить энергию, то такой нестабильности не возникает, потому что, как мы уже сказали, энергия вселенной должна оставаться постоянной. Вот что требуется, чтобы вселенная была локально стабильной: нужно сделать ее такой, чтобы ничто не появлялось повсюду просто так из ничего.

Если полная энергия вселенной должна всегда оставаться нулевой и если для создания тела нужно потратить энергию, то как же целая вселенная может быть создана из ничего? Вот зачем нужен закон гравитации. Поскольку гравитация притягивает, гравитационная энергия отрицательна: чтобы разделить связанную гравитацией систему — такую, например, как Земля с Луной, — нужно приложить усилия. Эта отрицательная энергия может быть уравновешена положительной энергией, необходимой для создания материи, но это не так уж просто. Отрицательная гравитационная энергия Земли, например, составляет менее чем одну миллиардную положительной энергии материальных частиц, из которых Земля состоит. Такое тело, как звезда, будет иметь больше отрицательной гравитационной энергии, и чем звезда меньше, чем ближе различные ее части друг к другу, тем больше будет эта отрицательная гравитационная энергия. Но прежде чем она сможет превысить положительную энергию материи, звезда сожмется и превратится в черную дыру, а черные дыры имеют положительную энергию. Вот почему пустое пространство стабильно. Тела, подобные звездам или черным дырам, не могут появиться просто так, из ничего. А вот вселенная целиком может.

Из-за того что пространство и время формируются гравитацией, пространство-время может быть локально стабильным, но глобально нестабильным. В масштабе всей вселенной положительная энергия материи *может* уравновешиваться отрицательной гравитационной энергией, и потому нет ограничения для

возникновения целых вселенных. Поскольку существует гравитация, вселенная может возникнуть самопроизвольно из ничего путем, о котором рассказано в главе 6. Самопроизвольное рождение и есть причина того, что Вселенная существует. Нет необходимости призывать на помощь Бога, чтобы он поджег фитиль и дал начало развитию Вселенной. Именно поэтому есть что-то, вместо того чтобы не было ничего, поэтому существуем и мы.

Почему законы нашей Вселенной таковы, какими мы их описали? Окончательная теория Вселенной должна быть непротиворечива и должна предсказать конечные результаты для тех величин, которые мы можем измерить. Мы увидели, что требуется наличие закона, подобного закону гравитации, а прочитав главу 5, убедились: для того чтобы теория гравитации предсказала конечные величины, она должна обладать так называемой суперсимметрией между фундаментальными взаимодействиями в природе и материей, на которую они действуют. М-теория является общей суперсимметричной теорией гравитации. Поэтому М-теория — *единственный* кандидат на место полной теории Вселенной. Если же она конечна — а это еще надо доказать, — то она будет моделью вселенной, способной к самопроизвольному возникновению. Мы должны быть частью такой вселенной, поскольку другой непротиворечивой модели нет.

М-теория и есть та единая теория, которую надеялся найти Эйнштейн. То, что мы, люди, сами являясь всего лишь скоплением фундаментальных природных частиц, смогли столь близко подойти к пониманию законов, управляющих нами и нашей Вселенной, представляет собой великую победу. Но, возможно, истинное чудо в том, что абстрактные логические рассуждения привели нас к уникальной теории, предсказывающей и описывающей огромную изумительно разнообразную Вселенную, простирающуюся перед нашим взором. Если теория подтвердится наблюдениями, это станет успешным завершением поисков, длившихся более 3000 лет. Тогда мы разгадаем Высший замысел.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Альтернативные истории — понятие в квантовой теории, подразумевающее, что вероятность любого наблюдения слагается из всех возможных историй, которые могли привести к этому наблюдению.

Амплитуда вероятности — в квантовой теории комплексное число, квадрат абсолютного значения которого дает вероятность.

Антивещество — каждая частица материи имеет соответствующую античастицу. Если они встречаются, то уничтожают друг друга, оставляя чистую энергию.

Антропный принцип — представление о том, что мы можем делать заключения о видимых законах физики, основанное на факте нашего существования.

Асимптотическая свобода — свойство сильного ядерного взаимодействия ослабевать на малых расстояниях. Благодаря этому свойству кварки, удерживаемые в пределах ядра сильным взаимодействием, могут перемещаться внутри ядра так, будто на них вообще не действуют никакие силы.

Атом — основная единица обычной материи, состоящая из ядра с протонами и нейтронами, окруженного вращающимися вокруг электронами.

Барион — элементарная частица, такая как протон или нейтрон, состоящая из трех кварков.

Бозон — элементарная частица, переносящая силу.

Большой взрыв — плотное и горячее начало Вселенной. Теория Большого взрыва предполагает, что около 13,7 миллиарда лет назад та часть Вселенной, которую мы можем видеть сегодня, имела диаметр всего в несколько миллиметров. Сегодня она гораздо шире и холодней, но остатки того раннего периода мы можем наблюдать в виде космического микроволнового фонового излучения, пронизывающего все пространство.

Галактика — крупная система из звезд, межзвездного вещества и темной материи, удерживаемых вместе гравитацией.

Гравитация — самое слабое из четырех фундаментальных взаимодействий (сил) в природе. Посредством гравитации объекты, обладающие массой, притягиваются друг к другу.

Квантовая теория — теория, в которой у объектов нет единственных определенных историй.

Кварк — элементарная частица с дробным электрическим зарядом, на которую действуют сильные ядерные взаимодействия. Протоны и нейтроны состоят из трех кварков.

Классическая физика — любая физическая теория, предполагающая, что Вселенная имеет единственную, строго определенную историю.

Космологическая постоянная — параметр в уравнениях Эйнштейна, придающий пространству-времени неотъемлемое стремление к расширению.

Мезон — элементарная частица, составленная из кварка и антикварка.

М-теория — фундаментальная физическая теория, кандидат на место теории всего.

Мультивселенная — множество вселенных.

Нейтрино — крайне легкая элементарная частица, на которую воздействуют только слабые ядерные взаимодействия и гравитация.

Нейтрон — электрически нейтральный барион, который вместе с протоном образует ядра атомов.

Очевидные законы — законы природы, которые мы наблюдаем в нашей Вселенной: законы четырех сил (фундаментальных взаимодействий), а также параметры, такие как масса и заряд, характеризующие элементарные частицы (в отличие от более фундаментальных законов М-теории, допускающих существование других вселенных с иными законами).

Перенормировка (ренормализация) — математический метод, разработанный для осмысления бесконечностей, возникающих в квантовых теориях.

Подход «сверху вниз» — в космологии подход, при котором истории Вселенной прослеживаются «сверху вниз», то есть от настоящего к прошлому.

Подход «снизу вверх» — в космологии подход, основанный на предположении, что существует единственная история Вселенной со строго определенной начальной точкой и что к своему нынешнему состоянию Вселенная пришла в результате эволюции от этого начала.

Принцип неопределенности Гейзенберга — закон квантовой теории, утверждающий, что определенные пары физических свойств не могут быть известны одновременно с какой угодно точностью.

Пространство-время — математическое пространство, точки которого должны обозначаться как пространственными координатами, так и координатой времени.

Протон — положительно заряженный барион, который вместе с нейтроном образует ядра атомов.

Сильное ядерное взаимодействие — наиболее сильное из четырех фундаментальных взаимодействий (сил) в природе. Оно удерживает протоны и нейтроны внутри атомного ядра. Оно также удерживает от распада сами протоны и нейтроны, что необходимо, поскольку они состоят из еще меньших частиц — кварков.

Сингулярность — точка в пространстве-времени, где физические величины становятся бесконечными.

Слабое ядерное взаимодействие — одно из четырех фундаментальных взаимодействий (сил) в природе. Слабое ядерное взаимодействие ответственно за радиоактивность и играет жизненно важную роль в образовании химических элементов внутри звезд и в ранней Вселенной.

Супергравитация — теория гравитации, включающая особый вид симметрии, называемый суперсимметрией.

Суперсимметрия — особый вид симметрии, который не может быть связан с преобразованием обычного пространства. Одно из важных следствий из суперсимметрии: частицы силы и частицы материи, а следовательно, сила и материя, на самом деле являются лишь двумя гранями одного и того же явления.

Теория струн — физическая теория, в которой частицы описываются как вибрирующие структуры, у которых имеется длина, но нет высоты и ширины — вроде бесконечно тонких отрезков струны.

Условие безграничности — требование, чтобы истории Вселенной имели вид замкнутых поверхностей без границы.

Фаза — местоположение в цикле волны.

Фермионы — элементарные частицы, из которых складывается вещество.

Фотон — бозон, переносящий электромагнитную силу; квантовая частица света.

Черная дыра — область пространства-времени, которая из-за огромной гравитационной силы отрезана от остальной Вселенной.

Электромагнитная сила — второе по силе из четырех фундаментальных взаимодействий (сил) в природе. Эта сила действует между электрически заряженными частицами.

Электрон — элементарная частица материи, имеющая отрицательный заряд и ответственная за химические свойства элементов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

У Вселенной есть замысел, есть он и у этой книги. Но в отличие от Вселенной книга не появляется самопроизвольно, из ничего. Книга нуждается в творце, и эта роль принадлежит не только ее авторам. Мы очень признательны и благодарны нашим редакторам Бет Рашбаум (Beth Rashbaum) и Энн Харрис (Ann Harris) за их почти бесконечное терпение. Они были нашими учениками, когда мы нуждались в учениках, нашими учителями, когда мы нуждались в учителях, и они же подгоняли нас, когда поджимало время. Они не расставались с рукописью ни на минуту, с юмором выходили из любой ситуации, будь то расстановка запятых или осесимметричное выстраивание кривой на плоскости. Мы также благодарны Марку Хиллери (Mark Hillery), который прочел бóльшую часть рукописи и дал нам ценные указания; Кэрол Ловенстейн (Carole Lowenstein), помогавшей нам оформлять книгу; Дэвиду Стивенсону (David Stevenson), который довел до совершенства обложку; и Лорен Новек (Loren Noveck), чья скрупулезность спасла книгу от опечаток. Спасибо Вам, Питер Боллингер (Peter Bollinger), за приобщение науки к искусству — за Ваши чудесные иллюстрации, выполненные с удивительной точностью и вниманием к каждой детали. Сидни Харрис (Sidney Harris), спасибо Вам за юмористические картинки и пристальный интерес к научным проблемам. Мы уверены, что в другой вселенной Вы могли бы быть физиком. Мы очень признательны нашим издателям Элу Цукерману (Al Zuckerman) и Сьюзен Гинзбург (Susan Ginsburg) за доверие и поддержку. Они постоянно твердили: «Книгу пора заканчивать» и «О сроках не беспокойтесь — в конце концов справитесь». У них хватало мудрости, чтобы высказывать одну из этих просьб в нужное время. И наконец, благодарим личного ассистента Стивена — Джудит Кроузделл (Judith Croasdell), его помощника по компьютерной части Сэма Блэкбурна (Sam Blackburn) и Джоан Годвин (Joan Godwin) не только за оказанную техническую помощь, но и за моральную поддержку. Без них не было бы этой книги. А кроме того, они всегда знали, где найти лучший паб.

Британский астрофизик Стивен Хокинг,
один из блестящих ученых нашего времени,
известе[illegible] но также
ясной и [illegible]жения.
Он увле[illegible]краю
исследо[illegible]причудливее
вымысл[illegible]сняет
принципы, [illegible]енной.

Соавторство Стивена Хокинга и Леонарда Млодинова, специалиста по квантовой теории и теории хаоса, являет собой успешный творческий тандем, что уже подтвердило их совместное произведение «Кратчайшая история времени», которое имело небывалый успех.

«Высший замысел» — новая захватывающая работа этих удивительных авторов. Цель этой книги — дать ответы на волнующие нас вопросы существования Вселенной, ответы, основанные на последних научных открытиях и теоретических разработках. Они приводят нас к уникальной теории, описывающей огромную, изумительно разнообразную Вселенную, — к теории, которая позволит нам разгадать Высший замысел.

Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2002 году Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании «Вымпелком». Приоритетные направления деятельности Фонда — развитие фундаментальной науки и образования в России, популяризация и просвещение. «Библиотека „Династии"» — проект Фонда по изданию современных научно-популярных книг, отобранных экспертами-учеными. Книга, которую вы держите в руках, выпущена в рамках этого проекта.

Более подробную информацию о фонде «Династия» вы найдете по адресу www.dynastyfdn.com

Династия

Э Л Е М Е Н Т Ы
elementy.ru

12+

ф | амфора
amphora.ru

Книги Хокинга

9 785367 026375

ISBN 978-5-367-02637-5